UNIVERSIDAD DE ATACAMA
SEDE VALLENAR

FACULTAD DE TECNOLOGÍA
SEDE VALLENAR

ESTUDIO DE CAMPAÑAS "SINTER FEED" EN MINA LOS COLORADOS, VALLENAR

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Técnico Universitario en Minas.

Profesor Guía: Enrique Veragua Guerra.

Jorge Daniel Campillay González
Jimena Alejandra Meneses Muñoz
Ámbar Salomé Suárez Henríquez

DEDICATORIA

Con profunda gratitud y amor, agradezco este logro a mis padres, hermanas, abuela, pareja e hijo por su inquebrantable apoyo, sacrificio y amor incondicional, han sido la luz que me ha guiado a lo largo de este camino académico. Cada éxito que alcanzo es también suyo, ya que su constante aliento y ejemplo ha sido mi mayor inspiración

Gracias por ser mis pilares en los momentos más desafiantes y por celebrar conmigo cada triunfo. Este logro lleva sus nombres y dedicación es en honor a ustedes que continúo esforzándome por alcanzar mis metas. Con todo mi cariño esta tesis lleva grabado sus nombres en cada página.

Quiero extender mis agradecimientos a dios, quien fue mi fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme en este camino académico y brindarme el entendimiento y la sabiduría necesaria para alcanzar esta meta.

(Ámbar Salome Suarez Henríquez)

Quiero dedicar este espacio a expresar mi más sincero agradecimiento a quienes han sido fundamentales en la termino de este proyecto de titulación.

A mi familia, por su amor, paciencia y apoyo constante durante todo este camino. Su confianza en mí fue mi mayor motivación para superar cada desafío.

A mis amigos, compañeros de estudios y compañeros de trabajo, por ser fuente de inspiración y por compartir conmigo este camino lleno de aprendizajes.

Finalmente, a todas las personas que, de manera directa o indirecta, aportaron a mi crecimiento personal y académico. Este logro no es sólo mío, sino también de ustedes.

¡Gracias infinitas!

(Jorge Daniel Campillay González)

Quiero dedicar un especial agradecimiento a mi familia por siempre apoyarme en este camino tan largo y difícil, sin embargo, aquí estoy gracias a ellos, a cuyo amor y apoyo incondicional han sido fuente constante de inspiración a lo largo de mi vida, gracias por creer en mis capacidades incluso cuando yo misma dudaba de ellas, y por sacrificar tanto para que pudiera alcanzar mis metas.

Darles las gracias sobre todo a mi querida madre Rosa Cecilia Muñoz, siempre fue un pilar fundamental para mí, tu fortaleza y compromiso me han enseñado la importancia del trabajado arduo y la resiliencia, tu paciencia y comprensión durante los momentos difíciles han sido invaluables. Este logro no habría sido posible sin tu aliento constante y tu fe en mí. Gracias por ser mi mayor apoyo y por enseñarme que con esfuerzo y determinación, todo es posible.

Gracias a mi padre por siempre apoyarme, sin tus sacrificios, dedicación y esfuerzo, nada de esto sería posible, a mis hermanas por siempre ayudarme y aconsejarme por un buen camino, por ser mis pilares en los momentos más desafiantes y por celebrar conmigo cada triunfo. Este logro es mío, pero el triunfo se lo dedico a cada uno de ustedes quienes me inspiraron a llegar donde me encuentro hoy, con todo mi amor esta tesis va dedicada a ustedes.

(Jimena Alejandra Meneses Muñoz)

ÍNDICE

CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO 10
1.1 Introducción 10
1.2 Objetivo general 10
1.3 Objetivos específicos 11
1.4 Planteamiento del problema 11
1.5 Justificación 11
1.6 Alcance 11
1.7 Hipótesis 12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 13
2. 1. Procesos 13
2.1.1 Minería a cielo abierto. 13
2.1.2 Perforación y tronadura. 13
2.1.3 Transporte del mineral. 13
2.1.4 Trituración primaria. 13
2.1.5 Concentración magnética. 13
2. 2. "Sinter Feed" 14
2.2.1 ¿Qué es el "SINTER FEED"? 14
2.2.2 Procesos de laboratorio y muestrera. 15
2. 3. Reactivos utilizados 15
2. 4. Materiales utilizados 15
2. 5. Equipos utilizados 16
2. 6. Elementos Protección Personal 17
2. 7. Preparación de "SINTER FEED" Área Mina 17
2. 8. Determinación Granulométrica 18
2. 9. Determinación de Humedad 20
2. 10. Determinación de DTT 20
2. 11. Determinación de S (Azufre) 23
2. 12. Determinación de Fe (hierro) 25
2. 13. Determinación de P (fósforo) 27
2. 14. Reporte de leyes. 30
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 33

3.1 Tipo de estudio 33
3.2 Caracterizar el proceso completo para definir los puntos críticos. 33
3.2.1 Reporte de leyes. (datos sacados de los cuadernos de análisis del laboratorio). 34
3. 3. Comparar las calidades del material a través de las campañas mensuales 37
3.3.1 Comparación de las calidades de hierro (Fe) en muestras de planta. 38
3. 4. Identificar las fallas que provocan las bajas en las leyes de las campañas 41
3. 5. Analizar los datos recopilados para identificar soluciones a nuestra problemática. 45
CAPÍTULO IV. RESULTADOS 46
4. 1. Caracterizar el proceso completo para definir los puntos críticos. 46
4.1.1 Extracción 46
4.1.2 Transporte 46
4.1.3 Preparación de muestras 46
4.1.4 Análisis químico 46
4.1.5 Comparar las calidades del material a través de las campañas mensuales. 47
4.1.5.1 Organización de datos 47
4.1.5.2 Generación de gráficos 47
4.1.5.3 Interpretación de resultados 48
4.1.6 Identificar las fallas que provocan bajas en las leyes de las campañas. 48
4.1.6.1 Variedad del material 48
4.1.6.2 Deficiencias en el procesamiento 48
4.1.6.3 Errores en el muestreo 48
4.1.6.4 Problemas operativos en los equipos 49
4.1.7 Analizar los datos recopilados para identificar soluciones a nuestra problemática. 49
4.1.7.1 Implementación de un sistema de control automatizado 49
4.1.7.2 Mejoras en el muestreo y la preparación: 49
4.1.7.3 Optimización de las etapas de procesamiento: 49
4.1.7.4 Monitoreo continuo y análisis estadístico: 50
4. 2. Diagrama de flujos. 51
4.2.1 Recepción y Almacenamiento. 51
4.2.2 Procesamiento Secundario. 52
4.2.3 Procesamiento Terciario. 52

4.2.4 Preparación Final. 52
4.2.5 Manejo de Residuos. 52
4.2.6 Transporte Final. 52
4. 3. Realización de gráficos 52
4.3.1 Gráficos por Campaña 53
4.3.1.1 Gráficos de especiales. 53
4.3.1.2 Gráficos de hierro y ley magnética. 54
4.3.1.3 Gráficos de fósforo. 54
4.3.1.4 Gráficos de azufre. 54
4.3.1.5 Campaña 1 55
4. 4. Solución del Problema. 61
4.4.1 Difractor de Rayos X. 61
CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN 63
ANEXOS 64
ANEXO 1: Gráficos Campaña 2 64
ANEXO 2: Gráficos Campaña 3 70
ANEXO 3: Gráficos Campaña 4 76
BIBLIOGRAFÍA 88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.7.1 Pulverizador ……..……..……...18

Figura 2.8.1 Harnero Gilson …….…….19

Figura 2.9.1 Horno de humedad 1 …….…… 20

Figura 2.10.1 Preparación de DTT …… 22

Figura 2.11.1 Preparación de azufre …….…….…… 24

Figura 2.12.1 Preparación de hierro …….…….…… 27

Figura 2.13.1 Preparación fierro …….……..…….…… 29

Figura 2.14. 1 Tabla Campaña Sinter Planta…….……...…. 30

Figura 2.14. 2 Tabla Campaña Sinter Trenes…….……..…. 31

Figura 2.14. 3 Tabla Campaña Sinter Especiales…….……... 32

Figura 3.2.1.1 Tabla Campaña 2 Planta…….……..…….. 34

Figura 3.2.1.2 Tabla Campaña Sinter Trenes…….……..…. 35

Figura 3.2.1.3 Tabla Campaña 2 Planta…….……..…….. 36

Figura 3.2.1 Diagrama de flujo …….…….……37

Figura 3.4.1 Tabla de Campañas …….……..…… 41

Figura 3.4.2 Tabla de Campañas …….……..…… 43

Figura 4.2.1 Diagrama de flujo…….……..……51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.3.1.1 Campaña 1 ……..……... 38
Gráfico 3.3.1.2 Campaña 2 ……..……... 39
Gráfico 3.3.1.3 Campaña 3 ……..……... 39
Gráfico 3.3.1.4 Campaña 4 ……..……... 40
Gráfico 3.3.1.5 Campaña 5 ……..……... 40
Gráfico 4.3.1.1.6 DTT Especiales, Campaña 1……..……..…55
Gráfico 4.3.1.1.7 DTT Planta, Campaña 1……..……..…… 55
Gráfico 4.3.1.1.8 DTT Trenes, Campaña 1……..……..…56
Gráfico 4.3.1.1.9 DTT Planta, Campaña 1……..……..…… 56
Gráfico 4.3.1.1.10 DTT Trenes, Campaña 1……..……... 57
Gráfico 4.3.1.1.11 DTT Especiales, Campaña 1……..……..…57
Gráfico 4.3.1.1.12 DTT Planta, Campaña 1……..……..…… 58
Gráfico 4.3.1.1.13 DTT Trenes, Campaña 1……..……..…… 58
Gráfico 4.3.1.1.14 DTT Planta, Campaña 1……..……..…… 59
Gráfico 4.3.1.1.15 DTT Trenes, Campaña 1……..……..…… 59
Gráfico 4.3.1.1.16 DTT Trenes, Campaña 1……..……..…… 60
Gráfico 4.3.1.1.17 DTT Especiales, Campaña 1……..……..…60

RESUMEN

La empresa CMP, mina Los Colorados de la ciudad de Vallenar, nos pidió como requisito que el material extraído y procesado en sus campañas Sinter Feed cumpliera con una ley de corte del 63%.

Para cumplir con este estándar, la empresa externa encargada del laboratorio químico, Mademet, tenía la responsabilidad de analizar las diferentes muestras recolectadas en las operaciones, para entregar datos fiables y precisos.

El objetivo de este estudio fue investigar los procesos de la mina, planta de procesamiento y laboratorio químico. Identificamos que, en ocasiones, el material no cumplía con el porcentaje requerido, por lo que desarrollamos una solución para optimizar la producción y garantizar un material de alta calidad y que cumpliera los estándares.

Se analizaron datos de campañas anteriores para identificar la raíz del problema. Con esta información, se diseñó una estrategia enfocada en mejorar la eficiencia operativa y la calidad del producto. El análisis incluyó gráficos por campaña, facilitando la detección de tendencias y bajas en la ley de corte.

Como resultado de este análisis, llegamos a una conclusión clave: la implementación de un equipo de difracción de Rayos X en las correas transportadoras. Este equipo tiene la capacidad de analizar el material en tiempo real, proporcionando resultados inmediatos y precisos.

En conclusión, esta solución aumentaría la producción dentro de la planta, reduciría costos operativos, tiempos de análisis y reduciría la necesidad de personal para dichas tareas. Esto haría un proceso más eficiente y entregaría de información fiable y beneficiosa para la empresa CMP y sus operaciones en la mina Los Colorados, mejorando la productividad y asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

PALABRAS CLAVES: SINTER FEED, LEY DE CORTE, ANÁLISIS, ESTÁNDARES, CALIDADES.

ABSTRACT

The CMP company, Los Colorados mine in the city of Vallenar, required us to comply with a cut-off grade of 63% for the material extracted and processed in its Sinter Feed campaigns.

To comply with this standard, the external company in charge of the chemical laboratory, Mademet, was responsible for analyzing the different samples collected in the operations, to provide reliable and accurate data.

The objective of this study was to investigate the processes of the mine, processing plant and chemical laboratory. We identified that, at times, the material did not comply with the required percentage, so we developed a solution to optimize production and guarantee high-quality material that met the standards.

Data from previous campaigns were analyzed to identify the root of the problem. With this information, a strategy was designed to improve operating efficiency and product quality. The analysis included graphs by season, facilitating the detection of trends and declines in the cut-off grade.

As a result of this analysis, we came to a key conclusion: the implementation of X-ray diffraction equipment on the conveyor belts. This equipment could analyze the material in real time, providing immediate and accurate results.

In conclusion, this solution would increase production within the plant, reduce operating costs, analysis times and reduce the need for personnel for these tasks. This would make the process more efficient and provide reliable and beneficial information for CMP and its operations at the Los Colorados mine, improving productivity and ensuring compliance with established quality standards.

In the end, these improvements would result in a higher level of satisfaction for all parties involved, boosting productivity, and ensuring compliance with established quality standards.

KEYWORDS: SINTER FEED, CUT-OFF GRADE, ANALYSIS, STANDARDS, QUALITIES.

CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Introducción

Los minerales y productos de planta llegan inicialmente a las canchas, donde son procesados para seguir con su carguío y transporte. Luego son sometidos a diferentes procesos para que las calidades requeridas por Mina Los Colorados sean rentables.

En el laboratorio de la mina Los Colorados, se realizan análisis de campañas de "SINTER FEED", correspondientes al material extraído del banco de explotación. Este material pasa por diversas correas y se les hace muestreo que, posteriormente, son analizadas en el laboratorio para verificar si cumplen con la ley de 63% de hierro requerida.

El problema identificado fue que algunas muestras no alcanzaban el porcentaje exigido, lo que afecta la calidad del material procesado.

Como grupo, nuestro objetivo fue determinar los factores que causan estas desviaciones. Para ello, utilizamos los datos de los análisis de los últimos 6 meses, incluyendo parámetros como Fe (hierro), P (fósforo), S (azufre) y DTT, para identificar las variables que influían en la calidad del material.

Analizamos cuáles y cuántas muestras no cumplían con la ley requerida y rastreamos el origen de éstas, identificando el banco de explotación correspondiente. Esto nos permitió implementar mejoras en los procesos de extracción y garantizar que las muestras cumplan con los estándares de calidad necesarios para la exportación del material.

1.2 Objetivo general

Analizar e identificar las variables que afectan las campañas de "SINTER FEED" cuyos resultados estén por debajo de la ley requerida del 63 % de hierro y determinar dónde se originan los problemas que afectan la calidad del material.

1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar el proceso completo para definir los puntos críticos.
- Comparar las calidades del material a través de las campañas mensuales.
- Identificar las fallas que provocan bajas en las leyes de las campañas.
- Analizar los datos recopilados para identificar soluciones a nuestra problemática.

1.4 Planteamiento del problema

A la mina Los Colorados, periódicamente llegan al laboratorio muestras especiales, conocidas como “Campañas de Sinter Feed” las cuales deben cumplir con un requisito de ley de 63% de hierro. Sin embargo, en algunos casos, las muestras presentan una ligera baja en la ley.

1.5 Justificación

Como grupo, nos motivaron los diversos tipos de análisis que se realizan en el laboratorio. A través de esta experiencia, comprendimos que cada análisis requiere procesos específicos que permiten obtener los resultados de las muestras extraídas de la mina y los trenes. Notamos que la empresa enfrentaba una problemática recurrente en los diferentes valles. Por ello, decidimos abordar este tema, ya que nos resultó interesante investigar el origen del material, su extracción y las variaciones en los resultados obtenidos durante los análisis. Pretendimos identificar la mejor solución para las bajas de ley que se presentan en cada campaña, ya que siempre se presentan algunas bajas en las leyes según los datos que obtuvimos.

Trabajando en el laboratorio, observamos que cada material presentaba resultados únicos, lo que impulsó a que quisiéramos aprovechar este conocimiento para proponer mejoras que minimicen estas variaciones y optimicen los procesos.

1.6 Alcance

Este caso de estudio sólo se basó en datos adquiridos en el laboratorio, mina y planta de la minera Los Colorados ubicada en la ciudad de Vallenar.

1.7 **Hipótesis**

Se buscó identificar la solución adecuada para garantizar una mejor calidad del material, asegurando que las leyes cumplieran con los estándares exigidos por la empresa.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En la Mina Los Colorados, ubicada en la Región de Atacama, el mineral de hierro pasa por varios procesos industriales antes de ser exportado como concentrado de alta pureza. Estos procesos buscan separar y concentrar el hierro a partir de la roca extraída. A continuación, se describen las etapas principales:

2. 1. **Procesos**

2.1.1 **Minería a cielo abierto.**

En Los Colorados, el hierro se extrae mediante métodos de minería a cielo abierto, utilizando maquinaria pesada para remover grandes cantidades de material.

2.1.2 **Perforación y tronadura.**

Se perforan las rocas y se utilizan explosivos controlados para fragmentarlas y facilitar su transporte.

2.1.3 **Transporte del mineral.**

El mineral fragmentado se transporta desde el frente de la mina hacia las plantas de procesamiento mediante camiones de alto tonelaje a cintas transportadoras.

2.1.4 **Trituración primaria.**

El mineral bruto se somete a un proceso de trituración para reducir su tamaño y facilitar los procesos posteriores. Se utilizan chancadores (Primarios y secundarios) y harneros para esta etapa.

2.1.5 **Concentración magnética**.

El mineral de hierro en Los Colorados tiene propiedades magnéticas que permiten separarla del material no deseado, utilizando tambores magnéticos para

concentrar el mineral, eliminando impurezas y dejando un producto con un alto contenido de hierro.

2. 2. **“Sinter Feed”**

En Mina Los Colorados, el “SINTER FEED” es uno de los productos principales derivados del procesamiento del mineral de hierro. Este material es crucial en la producción de acero, ya que sirve como materia prima para la etapa de sinterización en las plantas siderúrgicas.

2.2.1 **¿Qué es el “SINTER FEED”?**

El “SINTER FEED”, es un tipo de concentrado de hierro, con una granulometría más fina. Se utiliza principalmente en procesos de sinterización, donde se aglomera para formar piezas compactas (sinter), que luego sirve para la producción de acero.

Se prioriza la extracción de mineral que cumpla con las características químicas y físicas requeridas para producir “SINTER FEED”, con una ley adecuado de hierro (63%) y niveles controlados de impurezas como fósforo y azufre.

Durante estas campañas, se ajustan los procesos de chancados, granulometrías, humedades y concentración magnética (donde se separa el hierro de la ganga) para garantizar que el producto final cumpla con los requisitos de la empresa.

Para determinar que el material que se está procesando corresponda a “SINTER FEED”, es necesario muestrearlo y luego realizar los análisis correspondientes.

Muestrera: Preparación de “SINTER FEED”, determinación de granulometría y humedad.

Laboratorio: DTT (% magnético), Fe (% de hierro), P (% de fósforo), S (% de azufre).

2.2.2 **Procesos de laboratorio y muestrera.**

Se presentarán todos los equipos, materiales y reactivos que se utilizan para realizar los análisis físicos y químicos que se requieren para calcular las leyes del hierro según lo descrito anteriormente estos análisis son los que se realizan para calculas las leyes requeridas por la empresa.

2. 3. **Reactivos utilizados**

- Dicromato de potasio.
- Mezcla ácida.
- Mezcla colorante.
- Solución A.
- Solución B.
- Solución tricloruro.
- Agua desionizada.
- Lecocel II.
- Acelerador Iron Chip.

2. 4. **Materiales utilizados**

- Vasos de precipitado.
- Embudos analíticos.
- Papel filtro.
- Soporte universal.
- Espátulas.
- Cápsula Petri vidrio.
- Piseta.
- Espátulas.
- Matraces.
- Crisoles.
- Brocha.

- Dosificadores de ácidos graduados.
- Pala dosificadora.
- Pinzas crisoleras.
- Pincel.
- Brochas.
- Puruñas.
- Agitador magnético.
- Hervidor.
- Espátulas.

2. 5. **Equipos utilizados**

- Chancador de mandíbulas.
- Chancador de rodillos.
- Divisor rotatorio.
- Divisor rotatorio de mesa.
- Pulverizador.
- Balanzas analísticas.
- Balanza semianalítica.
- Carretilla.
- Harnero Gilson.
- Agitador de tamices.
- Horno de secado.
- Equipo Davis Eriez Magnetics.
- Placa calefactora.
- Dosificadores de ácidos graduados.
- Bureta digital.
- Espectrofotómetro de absorción molecular (colorímetro).
- Baño de agua.

- Embudos analíticos.
- Equipo LECO S744.
- Pc LECO.
- Campana extractora.

2. 6. **Elementos Protección Personal**

- Zapatos de seguridad.
- Lentes de seguridad.
- Guantes de nitrilo.
- Slack Antiácido.
- Delantal antiácido.

2. 7. **Preparación de "SINTER FEED" Área Mina**

- Revisar que la identificación de muestra concuerde con la OAG entregada y el peso total de la muestra se registra.
- Realiza el secado de la muestra en horno hasta que se pueda disgregar fácilmente. Si el tamaño de la partícula es mayor a ¼'', se debe separar el material "fino" y realizar chancado de sobre tamaño y se mezcla con "fino".
- Añadir la muestra a un divisor rotatorio.
- Separar la muestra en divisor rotatorio en 3 o 4 porciones equivalentes y el resto guardar como testigo en bolsa plástica, registrando su peso.
- De las muestras equivalentes, se ocupa una porción para análisis químico y las porciones restantes se descartan.
- Para el análisis químico se debe obtener un mínimo de 500 gramos. Si no se cumple con este lineamiento, se debe volver a realizar la homogenización en el divisor rotatorio hasta completar los 500g.
- La muestra para el análisis químico se debe tamizar en -10# y la muestra +10# reducir en chancador de rodillos 100% 10# Tyler.

- Pulverizar la muestra y cuartear hasta obtener 140g aprox. de muestras directos desde el capacho, sin puntear.
- Someter la muestra a secado de 5 a 15 minutos, dependiendo del grado de humedad que contenga.
- Una vez seca y a temperatura ambiente, se pulveriza la muestra y se tamiza 100% en tamiz -100# mallas Tyler.

Figura 2.7. 1 Pulverizador



(Fuente: Creación Propia)

- Finalmente, la muestra se homogeniza y se divide en dos. Luego se envasa en sobre de papel y se registra el peso de cada bolsa, se rotula e ingresa al laboratorio, donde se verifica que la muestra haya sido pulverizada al 78-82% -325 mallas Tyler, de acuerdo con tiempo registrado.

2. 8. **Determinación Granulométrica**

- Pasar la muestra por el divisor rotatorio y obtener entre 1 y 10 kg. de muestra.
- De ¼'' a 2.5'', pasar la muestra por el divisor rotatorio y obtener entre 1 y 10 kg. de muestra. En caso de que la muestra sea mayor a 2.5", se debe considerar toda la muestra sin pasar por el divisor rotatorio.
- Agregar la muestra en Harnero Gilson durante 60 segundos.

- Pesar la muestra retenida de las distintas mallas utilizadas y registrar.
- Del material con tamaño de partícula inferior a 1/8”, se debe obtener, por cuarteo en divisor, una cantidad de muestra de aproximadamente 500 gramos, la que se debe secar de 5 a 15 minutos aproximadamente, dependiendo del grado de humedad que tenga. Una vez seca la muestra, se debe enfriar y, luego, determinar el perfil granulométrico.
- Poner la tapa al set de tamices e instalarlos en el agitador de tamices (ro-tap) por un periodo de 90 segundos.
- Terminado el tiempo de prueba, se retiran los tamices del agitador y se pesa la muestra retenida en cada tamiz, registrando sus valores. Para % de mallas, aplicar la siguiente fórmula:

  % de fracción=P2P1∗100% de fracción=P2P1∗100

Para obtener los porcentajes de cada tamiz a partir del %-1/8, aplicar la siguiente fórmula:

% de fracción=P2P1∗%−1/8’’ % de fracción=P2P1∗%−1/8’’

P1= Peso total de muestra (g)

P2= Peso de muestra retenido en cada tamiz (g).

Figura 2.8. 1 Harnero Gilson



(Fuente: Creación Propia)

2. 9. **Determinación de Humedad**

- Pesar bandeja seca (PO), registrar peso. Se debe agregar a la bandeja aproximadamente 6 kilos de muestra, obtenida por cuarteo y registrar peso (P1).
- Colocar en horno de secado seteado a una temperatura 105 ± 50 C por 4 horas, Retirar y enfriar. Pesar bandeja con muestra seca, registrar peso (P2).

Para cálculo de peso, utilizar la siguiente fórmula

(P1 = Peso total de muestra y P2= Peso total retenido en malla).

$$\%H=P1-P2P2-PO*100\%H=P1-P2P2-PO*100$$

Figura 2.9. 1 Horno de humedad



(Fuente: Creación Propia)

2. 10. **Determinación de DTT**

- Encender los interruptores del equipo y ajustar a 100 % el campo magnético, con aproximadamente 10 minutos de anticipación al uso.
- En la pantalla digital izquierda debe indicar la lectura entre 1.8 y 1.9 DCA, para equipos 19061, 20061,146061 y, entre 1.50 y 1.60 DCA, para equipos 124061, 125061, para obtener un campo magnético de 4.000 Gauss.

- Pesar 10g de muestra y colocar en vaso precipitado de 250 ml (Pi).
- Agregar agua al vaso para formar una pulpa que facilite el traspaso de la muestra al tubo de vidrio. Cerrar con pinza la descarga del tubo.
- Llenar el tubo con agua hasta aproximadamente 1" sobre el nivel de los electroimanes.
- Vaciar la pulpa en el tubo de vidrio del equipo. Completar volumen con agua y tapar.
- Abrir llave de flujo de agua, fijar flujo-metro a 600 ± 100 ml/min con llave de ajuste de flujo y abrir pinza de descarga del tubo de vidrio.
- Ajustar la velocidad del motor a 110 ± 10 golpes/min. según posición del control de velocidad (1 a 10) indicado en la última verificación y el valor descrito en el registro de verificación de flujo y golpes por minuto en tubo Davis que se realiza semanalmente.
- Controlar tiempo para comenzar la prueba. Mantener tiempo de prueba definido. Llevar velocidad del motor a cero terminado el tiempo de prueba.
- Cerrar la llave de paso de agua y retirar el tubo de vidrio con ambas manos, para evitar que se quiebre por la fuerte atracción que genera el campo magnético y la abrazadera metálica.
- Recoger en vaso de 250ml el material magnético retenido, eliminando el sobrenadante con ayuda de un imán, para evitar perdida de muestra.
- Secar en horno por 15 ± 5 minutos.
- Enfriar y pesar la masa de material magnético retenido (Pr), ayudándose de un pincel y registrando su valor.

Para porcentaje de material magnético se debe utilizar la siguiente formula:

$$DTT=PRP*100DTT=PRP*100$$

Para cálculo de % de hierro magnético se debe utilizar la siguiente formula:

$$\%Fem = (\%Fe\ Dtt) * (\%Dtt)100\%\ Fem = \%Fe\ Dtt * (\%Dtt)100$$

Pr= Peso recuperado (g)

Pi= Peso inicial (g)

%Fe = Hierro magnético de la muestra.

%DTT= Concentración de Fe soluble efectuado al DTT.

Figura 2.10. 1 Preparación de DTT



(CreaciónPropia)

2. 11. **Determinación de S (Azufre)**

- Activar gases pulsando el icono inferior izquierdo “GAS” (se despliegan las opciones Activado – Desactivado – Conservar) y pulsar “ACTIVADO”. Para desactivar los gases al finalizar lecturas pulsar icono “DESACTIVADO”.
- Realizar revisión de presiones con el pedestal abajo. La presión anterior debe estar en 35 psi, la contra presión en 790 mm Hg, el flujo transportador en 3.0 LPM y, con el pedestal arriba, la presión anterior y posterior en 12 psi. El resto se mantiene igual.
- Seleccionar la nueva muestra pulsando “MUESTRA” en el menú de la pantalla.
- Posicionarse en “MÉTODO” y se abrirá venta con los métodos guardados.
- Seleccionar método de acuerdo con la concentración de Azufre de la muestra DTT: 0.000 – 0.050 Cabeza:0.050 – 0.500 Azufre Alto 0.5 -10 Finalmente pulsar tecla Introducir para guardar la elección.
- Antes de analizar las muestras, se analizan tres blancos, lo que llevan una medida de Lecolel y una medida de acelerador iron chip.
- Poner crisol en balanza analítica y tarar.
- Pesar aprox. 0.2000 grs. de Estándar (el cual debe dar como resultado 0,037 +-2) y de cada muestra traída del laboratorio dentro del crisol.
- Guardar valor oprimiendo la tecla de impresión.
- Agregar sobre la muestra una medida de Lecocel II y una medida del acelerador Iron Chip.
- Posicionar crisol sobre pedestal de combustión y pulsar botón “ANALIZAR”.
- Una vez terminado el análisis, retirar el crisol caliente con las pinzas crisoleras y eliminar en contenedor metálico ubicado al costado derecho del equipo LECO. Registrar valor obtenido.
- Una vez que todas las muestras estén analizadas, dejar el equipo limpio y en buenas condiciones para el siguiente turno.

Como dato extra, la anhydrona se cambia cada cincuenta muestras para que el equipo no presente fallas en las lecturas.

Figura 2.11. 1 Preparación de azufre



(CreaciónPropia)

2. 12. **Determinación de Fe (hierro)**

- En este análisis se pesa el estándar en triplicado, antes que todo, y se analiza. Luego la planta, los trenes, especiales (2718, 2712, 27216). Se pesa 0.4000g.
- Después de pesar las muestras, se llevan a la placa calefactora a 135ºC, agregando de 15 a 20 ml de HCI (ácido clorhídrico concentrado), tapando el matraz con vidrio reloj y dejando en la placa por alrededor de 15 minutos hasta disolver la muestra.
- Una vez transcurrido los 15 minutos, se retira el vidrio reloj y, al matraz, se le agregan SnCl2 10% p/v. (cloruro estañoso) hasta llegar al color amarillo pato. Se le agrega hasta los 100 ml agua hervida desionizada y se sube a la placa por 5 minutos.
- Transcurrido los 5 minutos, se baja de la placa y se le agregan gotas de Índigo Carmín hasta obtener color azul verdoso. Reducir, gota a gota, con TiCl3 hasta que desaparezca el color azul verdoso y quede transparente.
- Agregar solución de Dicromato de Potasio al 0.1 % p/v hasta la aparición del color azul.
- Colocar en la placa calefactora, donde el color azul debe permanecer, por lo menos 5 segundos (si es necesario, agregue más Dicromato de Potasio al 0.1% p/v para mantener el color). Diluir aproximadamente a 150 ml con agua desionizada.
- Luego, adicionar 25 ml de mezcla ácida. Agitar solución de K2Cr2O7 5.4 g/L antes de utilizar (solo al inicio del turno). Titular con solución de K2Cr2O7 5.4 g/L utilizando bureta de 50 ml y agitador magnético.
- Agregar gotas de indicador Difenil-4 Amin sulfonato de sodio.
- Titular hasta el viraje del indicador a violeta permanente. No olvidar que en esta etapa se pueden proyectar gotas de solución ácida por lo que es obligatorio el uso de lentes.

Fórmula para calcular % Fe:

$$\%Fe = S * PS * VMPM * VS \%Fe = S * PS * VMPM * VS$$

%Fe: % de Fe soluble en muestra problema.

S: % Fe muestra estándar.

Ps: Peso muestra estándar (g).

Vm: Volumen de K2Cr2O7 gastados en valoración de muestra problema (ml).

Pm: Peso muestra problema.

Vs: volumen de K2Cr2O7 gastados en valoración de estándar

Figura 2.12. 1 Preparación de hierro



(Creación Propia)

2. 13. **Determinación de P (fósforo)**

- Se pesa la planta (2718, 2712, 27216, 27211, 2790), los trenes, especiales y estándar. En este análisis se pesan 0.5000gr en vaso precipitado de 250 ml agregando de 10 a 15 ml de HCI (ácido clorhídrico), se sube a la placa y se tapa con vidrio reloj, dejando hasta disolver la muestra entre 3 a 5 minutos aproximadamente. Una vez disuelto, se baja de la placa y se lava el vidrio reloj con agua desionizada y se deja enfriando. Se lleva a filtrar en un matraz de 250 el cual esta con 100ml de agua desionizada, se lava el vaso eliminando toda la muestra en la cual luego se lava el filtro de 3 a 4 veces hasta que desaparezca la muestra del papel, se afora el matraz y se procede a agitar.

- Se toma alícuota de 10 ml (muestra cabeza) y 25 ml (muestra DTT) y se agrega en un matraz de 100 ml e igualar volúmenes a, aproximadamente, 25 ml con agua desionizada.
- Adicionar agua desionizada a un matraz que servirá como blanco para ajustar el equipo (25 ml aprox.). Agregar aproximadamente 10 ml de Na2S2O5 al 10 % p/v. Calentar en baño de agua hirviente a 95°C por 10 minutos, aproximadamente.
- Agregar 25 ml de mezcla colorante y continuar calentando por 10 minutos. Pasados los 10 minutos, enfriar en agua, enrasar y agitar.
- Leer Absorbancia de las muestras en Espectrofotómetro a 825 nm y determinar concentración de Fósforo de acuerdo con curva de calibración vigente.

Fórmula para calcular el %P=

$$A*Fd*FcA*Fd*Fc$$

% P= % de Fósforo en muestra problema.

A= Absorbancia de la muestra.

Fd= Factor de dilución de la muestra.

Fc= Factor colorimétrico.

M= Peso de la muestra problema.

Figura 2.13. 1 Preparación de fierro



(Creación Propia)

2. 14. **Reporte de leyes.**

Una vez realizados los análisis correspondientes cada resultado, se traspasa a un cuaderno, se hacen los análisis requeridos y luego se suben a planillas de Excel para reportar las leyes a gerencia y poder saber si las campañas de “SINTER FEED” cumplen con las leyes requeridas por la empresa.

Figura 2.14. 2 Tabla Campaña Sinter Planta

CAMPAÑA SINTER (PLANTA)									
FECHA	**MUESTRA**	**FE**	**FE DTT**	**P**	**P DTT**	**S**	**S DTT**	**DTT**	**FE MAG**
19-04-2024	PTA 2718	63,51	71,29	0,031	0,002	0,221	0,006	88,0	62,74
19-04-2024	PTA 2712	60,08	71,28	0,039	0,002	0,384	0,007	82,8	59,02
19-04-2024	PTA 2720	31,23	70,24	--	--	--	--	42,8	30,06
19-04-2024	PTA 2783	21,19	65,68	--	--	--	--	28,7	18,85
19-04-2024	PTA 2790	50,51	70,24	0,076	0,003	0,356	0,008	70,0	49,17
19-04-2024	PTA 2799	15,06	65,86	--	--	--	--	19,3	12,71

(Mademet, 2024)

Figura 2.14. 2 Tabla Campaña Sinter Trenes

CAMPAÑA SINTER (TRENES)									
FECHA	**MUESTRA**	**FE**	**FE DTT**	**P**	**P DTT**	**S**	**S DTT**	**DTT**	**FE MAG**
19-04-2024	T 713	62,01	71,23	0,048	0,003	0,184	0,007	86,3	61,47
19-04-2024	T 715	63,31	71,23	0,034	0,003	0,221	0,004	88,0	62,68
19-04-2024	T 717	63,48	71,34	0,031	0,003	0,210	0,004	88,0	62,78
20-04-2024	T 701	63,09	71,25	0,044	0,003	0,193	0,004	87,6	62,42
20-04-2024	T 703	63,59	71,15	0,033	0,003	0,201	0,005	88,2	62,75

(Mademet, 2024)

Figura 2.14. 3 Tabla Campaña Sinter Especiales

CAMPAÑA SINTER (ESPECIALES)									
FECHA	**MUESTRA**	**FE**	**FE DTT**	**P**	**P DTT**	**S**	**S DTT**	**DTT**	**FE MAG**
19-04-2024	ESP 2718	62,30	--	0,045	--	--	--	--	--
	ESP 2712	59,16	71,15	--	--	--	--	82,1	58,41
	ESP 2783	--	--	--	--	--	--	23,3	--
	ESP 2790	--	--	--	--	--	--	56,8	--
	ESP 2799	--	--	--	--	--	--	17,0	--
19-04-2024	ESP 2718	62,39	--	0,057	--	--	--	--	--
	ESP 2712	59,44	71,11	--	--	--	--	83,0	59,02
	ESP 2783	--	--	--	--	--	--	53,5	--
	ESP 2790	--	--	--	--	--	--	64,4	--
	ESP 2799	--	--	--	--	--	--	23,9	--

(Mademet, 2024)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de estudio

El presente estudio combina un enfoque cuantitativo y cualitativo, con un diseño descriptivo, explicativo.

Enfoque cuantitativo: Se basa en la recolección y análisis de datos obtenidos de las campañas de "SINTER FEED" realizadas durante los últimos cinco meses. Estos datos incluyen análisis de hierro (Fe), fósforo (P), azufre (S) y DTT, los cuales permiten realizar comparaciones estadísticas y detectar tendencias en la calidad del material.

Enfoque cualitativo: Se centra en identificar y comprender los factores operativos, técnicos y logísticos que influyen en las desviaciones de las leyes requeridas. Esto incluye observaciones del proceso y charlas con el personal tanto de planta como laboratorio químico.

El diseño descriptivo permite detallar los procesos involucrados en las campañas de Sinter Feed y sus puntos críticos.

El análisis explicativo busca determinar las causas de las desviaciones en la calidad y proponer soluciones prácticas para su optimización.

3.2 Caracterizar el proceso completo para definir los puntos críticos.

Estudiar las etapas operativas, desde la extracción del mineral hasta los análisis químicos en laboratorio, por lo que se solicitó a la empresa Mademet los datos de las campañas de "SINTER FEED" con cinco meses de antigüedad.

Se analizaron los puntos críticos de estos análisis, los que se ordenaron y analizaron; hubo visitas al sitio y revisión de documentos operativos de los equipos, con el objetivo de identificar el motivo de las bajas de leyes dentro de las campañas.

En primer lugar, se solicitó esta información a la supervisora de la empresa Mademet la que permitió revisar documentos técnicos de la empresa (manuales, procedimientos y

reportes de producción). Se entrevistó al personal de planta y laboratorio para ver los procedimientos diarios y poder entender mejor cada uno de los procedimientos.

Se documentó visualmente las etapas del proceso, desde la extracción hasta la separación magnética. Se identificó equipos clave (chancadores, harneros, tambores magnéticos) y se evaluó su estado operativo, observando cómo se realiza el muestreo en las correas transportadoras. Se mapearon las posibles fuentes de error, como variaciones en el chancado, fallas en el transporte o errores en el muestreo o dentro del laboratorio químico.

3.2.1 **Reporte de leyes. (datos sacados de los cuadernos de análisis del laboratorio).**

Figura 3.2.1.1 Tabla Campaña 2 Planta

CAMPAÑA 2 (PLANTA)									
FECHA	**MUESTRA**	**FE**	**FE DTT**	**P**	**P DTT**	**S**	**S DTT**	**DTT**	**FE MAG**
21-04-2024	PTA 2718	63,15	71,20	0,043	0,003	0,167	0,006	88,3	62,87
21-04-2024	PTA 2712	59,78	71,18	0,078	0,003	0,377	0,008	83,1	59,15
21-04-2024	PTA 2720	39,28	70,06	--	--	--	--	54,7	38,32
21-04-2024	PTA 2783	43,02	70,18	--	--	--	--	60,2	42,24
21-04-2024	PTA 2790	51,42	70,56	0,078	0,003	0,313	0,007	71,9	50,73
21-04-2024	PTA 2799	27,22	68,43	--	--	--	--	38,4	26,28

(Mademet, 2024)

Figura 3.2.1.2 Tabla Campaña Sinter Trenes

CAMPAÑA SINTER (TRENES)									
FECHA	**MUESTRA**	**FE**	**FE DTT**	**P**	**P DTT**	**S**	**S DTT**	**DTT**	**FE MAG**
23-04-2024	T 703	64,33	71,24	0,030	0,003	0,195	0,008	89,8	63,97
23-04-2024	T 705	62,51	71,17	0,041	0,003	0,166	0,007	87,3	62,10
23-04-2024	T 707	63,33	71,13	0,044	0,003	0,208	0,011	88,2	62,74
23-04-2024	T 709	62,51	71,17	0,021	0,003	0,137	0,006	87,0	61,92
23-04-2024	T 711	59,96	70,82	0,081	0,003	0,141	0,009	83,6	59,21
23-04-2024	T 713	63,43	71,08	0,020	0,003	0,150	0,008	88,6	62,98

(Mademet, 2024)

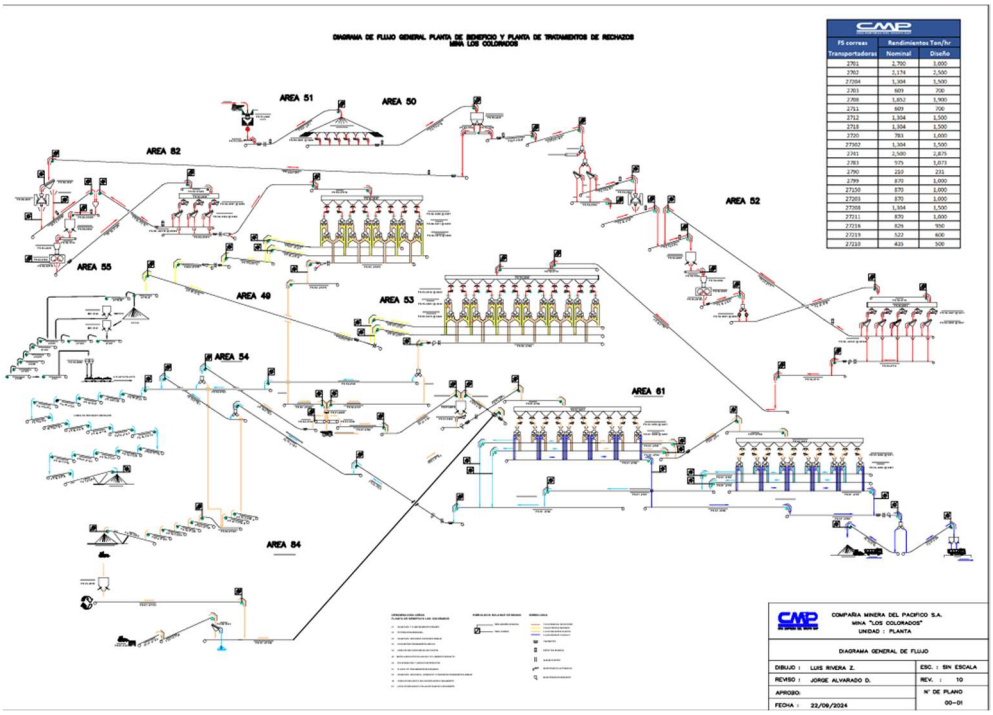
Figura 3.2.1.3 Tabla Campaña 2 Planta

CAMPAÑA SINTER (ESPECIALES)									
FECHA	**MUESTRA**	**FE**	**FE DTT**	**P**	**P DTT**	**S**	**S DTT**	**DTT**	**FE MAG**
21-04-2024	ESP 2783	--	--	--	--	--	--	--	
21-04-2024	ESP 2790	--	--	--	--	--	--	--	--
21-04-2024	ESP2718	64,75	--	--	--	--	--	89,7	--
21-04-2024	ESP 2712	61,33	71,15	--	--	--	--	85,6	60,90
21-04-2024	ESP 2783	--	--	--	--	--	--	63,00	--
21-04-2024	ESP 2790	--	--	--	--	--	--	64,9	--
21-04-2024	ESP 2718	--	--	--	--	--	--	89,1	--
22-04-2024	ESP 2790	--	--	--	--	--	--	66,4	--
22-04-2024	ESP 2718	64,39	--	--	--	--	--	89,6	--
22-04-2024	ESP 2712	61,29	71,20	--	--	--	--	85,2	60,66

(Mademet, 2024)

También, nos facilitaron un diagrama de flujos, el cual nos sirvió para entender el proceso completo por el pasa el material desde de la mina.

Figura 3.2. 1 Diagrama de flujo



3. 3. **Comparar las calidades del material a través de las campañas mensuales**

Se recolectaron los datos obtenidos de las campañas y se organizaron en hojas de cálculo de Excel, clasificados según el tipo de muestra (planta, trenes, especiales) y el periodo correspondiente (fecha de inicio y término). Esta organización permitió la generación de gráficos mensuales, facilitando el análisis de las tendencias y variaciones en la calidad del material procesado en planta. De esta manera, fue posible realizar comparaciones entre los gráficos para identificar patrones específicos y detectar, de manera más ágil, los periodos en los que se produjeron disminuciones significativas en la ley.

Adicionalmente, se integraron las planillas de datos proporcionadas por el laboratorio, que contenían información analítica de variables críticas como hierro, fósforo, azufre y DTT. Estos datos se sistematizaron por tipo de muestra (planta, especiales, trenes) y se

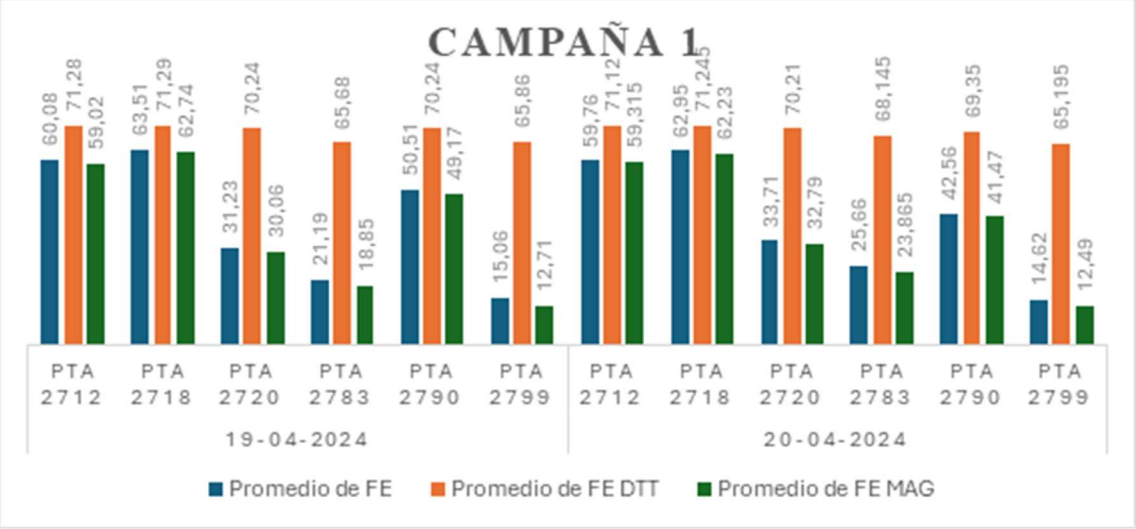
clasificaron de manera cronológica, digitalizándolos en hojas de Excel organizadas por meses para facilitar el análisis de tendencias.

Finalmente, se desarrollaron gráficos representativos de la calidad promedio por campaña, destacando los periodos con desviaciones significativas. Estos análisis permitieron evaluar las variaciones en la calidad del material procesado durante los distintos meses, aportando una herramienta clave para el monitoreo y la toma de decisiones operativas.

Gracias a estos gráficos se pudo identificar con mayor precisión y de manera más rápida las bajas de leyes en los meses y días precisos para así verificar cual fue la falla dentro de las bajas de leyes.

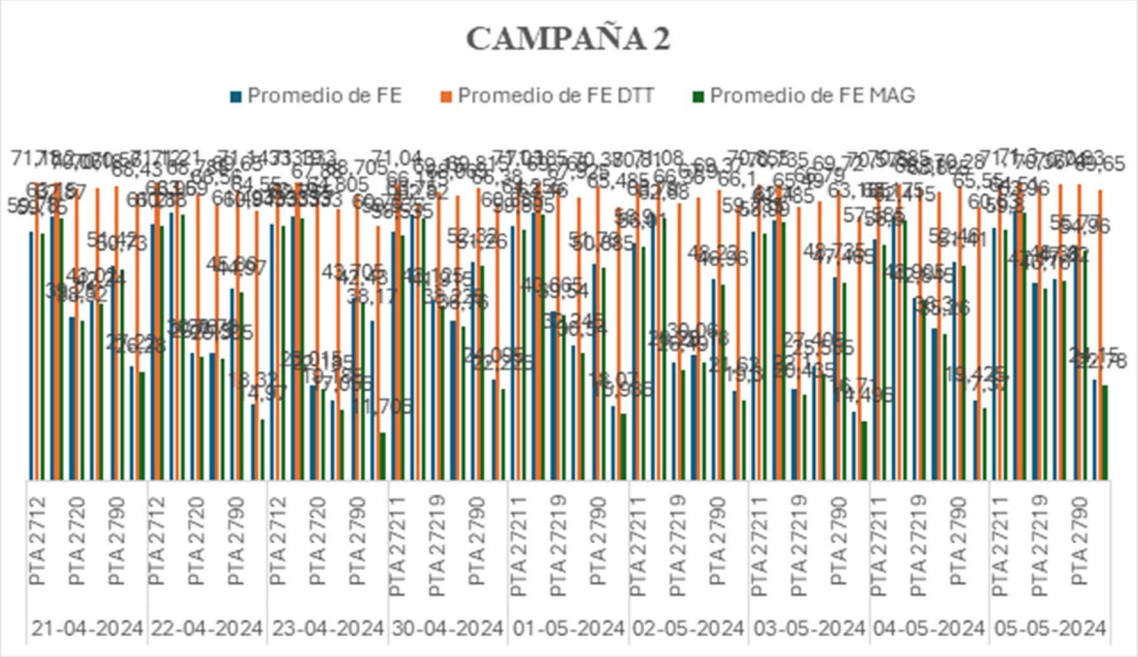
3.3.1 **Comparación de las calidades de hierro (Fe) en muestras de planta.**

Gráfico 3.3.1. 1Campaña 1



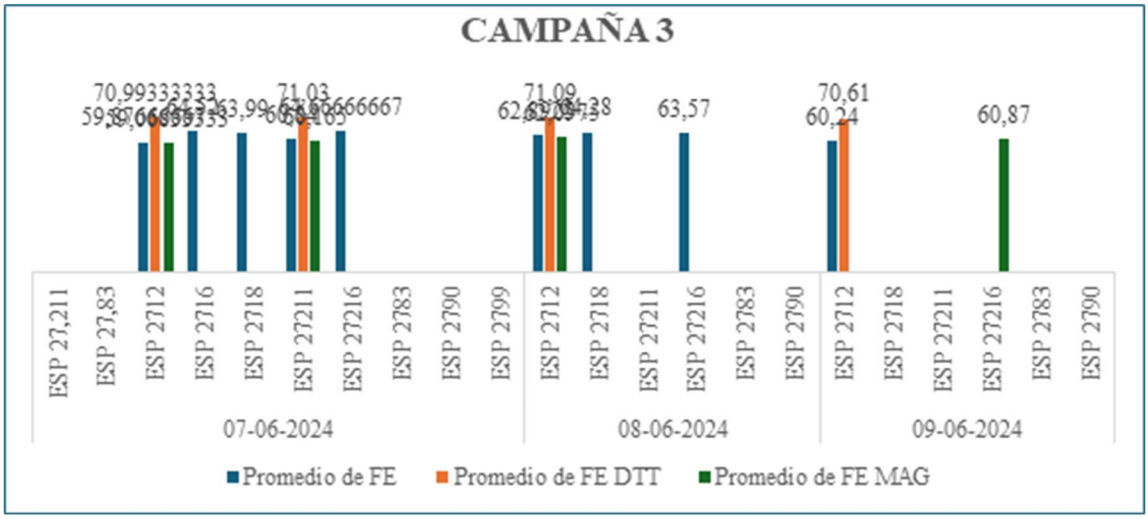
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 3.3.1. 2 Campaña 2



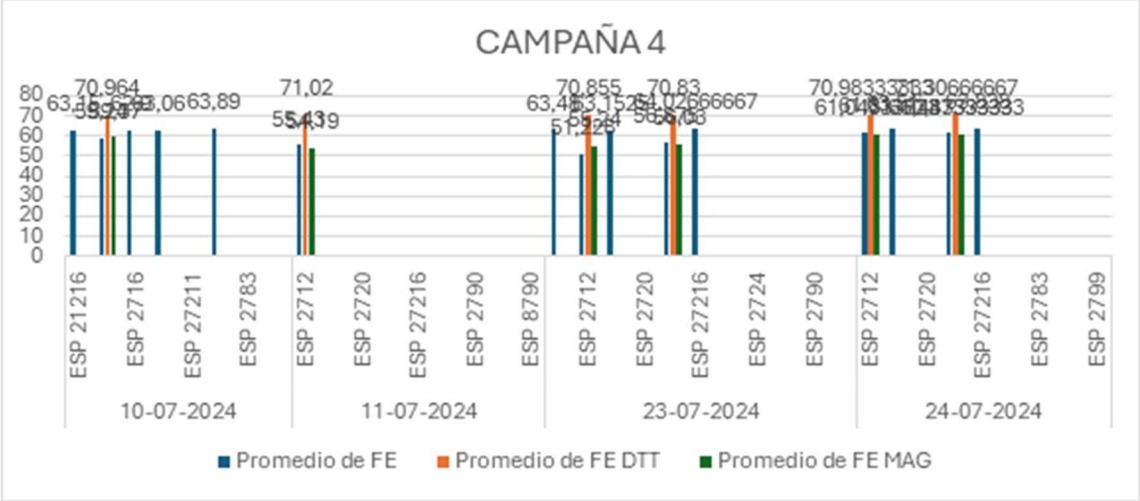
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 3.3.1. 3 Campaña 3



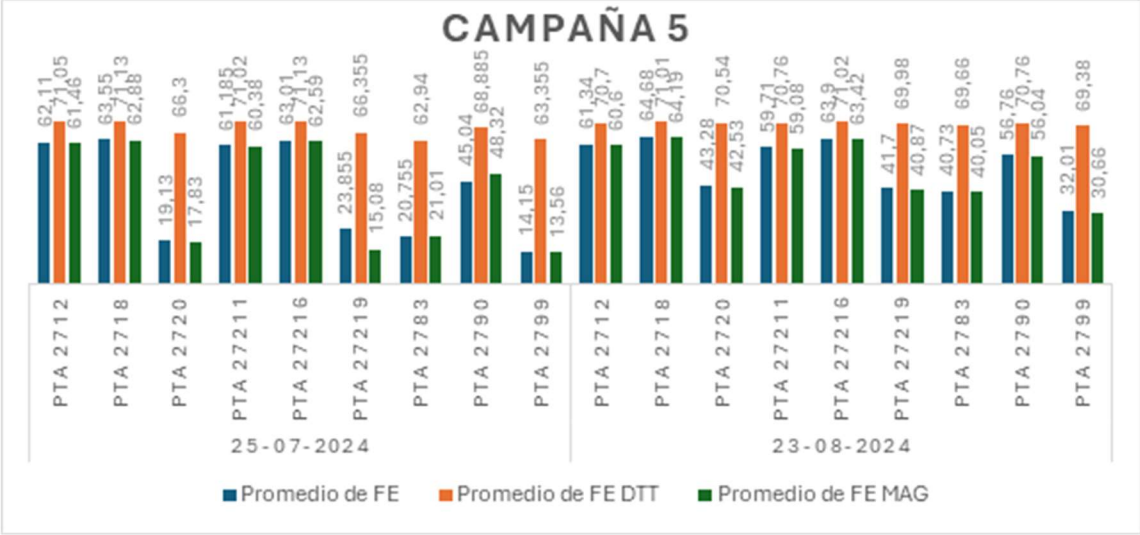
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 3.3.1. 4 Campaña 4



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 3.3.1. 5 Campaña 5



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

3. 4. **Identificar las fallas que provocan las bajas en las leyes de las campañas**

Se llevó a cabo una evaluación de las posibles causas de las desviaciones detectadas en los resultados. Entre los factores analizados se incluyeron errores en los procedimientos de muestreo, fallas en los equipos de procesamiento (como chancadores, tamices, entre otros), variaciones en el manejo de reactivos y discrepancias en los análisis químicos. Asimismo, se examinó la interacción del personal con los materiales de extracción y las características inherentes del material a ser procesado.

Se revisaron en detalle los métodos empleados en las etapas de chancado, transporte y muestreo, verificando su adherencia a las especificaciones técnicas establecidas. Esto incluyó la inspección del estado de los equipos críticos, como correas transportadoras, chancadores y divisores rotatorios, con el objetivo de identificar posibles problemas de mantenimiento o fallas en su calibración.

Adicionalmente, se evaluaron inconsistencias en los resultados generados por el laboratorio, comparando las muestras con resultados atípicos con las condiciones operativas de su origen. Se documentaron de manera rigurosa las fallas identificadas, incluyendo problemas en los equipos y errores humanos durante la ejecución de los procedimientos. Este análisis permitió establecer una base sólida para implementar acciones correctivas y mitigar desviaciones futuras.

Tabla 3.4.1

Etiquetas de fila	Promedio de FE	Promedio de FE DTT	Promedio de FE MAG
10-07-2024	**61,39**	**70,96**	**59,37**
ESP 21216	63,15	---	---
ESP 2712	59,24	70,96	59,37
ESP 2716	62,9	---	---
ESP 2718	63,06	---	---
ESP 27211	---	---	---
ESP 27216	63,89	---	---
ESP 2783	---	---	---
ESP 2790	---	---	---
11-07-2024	**55,43**	**71,02**	**54,19**
ESP 2712	55,43	71,02	54,19

ESP 2718	---	---	---
ESP 2720	---	---	---
ESP 27211	---	---	---
ESP 27216	---	---	---
ESP 2783	---	---	---
ESP 2790	---	---	---
ESP 2799	---	---	---
ESP 8790	---	---	---
23-07-2024	**58,54**	**70,85**	**55,5**
ESP 21216	63,48	---	---
ESP 2712	51,23	70,86	55,24
ESP 2718	63,15	---	---
ESP 2720			
ESP 27211	56,88	70,83	56,03
ESP 27216	64,03	---	---
ESP 27219	---	---	---
ESP 2724	---	---	---
ESP 2783	---	---	---
ESP 2790	---	---	---
ESP 2799	---	---	---
24-07-2024	**62,82**	**71,15**	**60,96**
ESP 2712	61,81	70,98	61,04
ESP 2718	63,51	---	---
ESP 2720	---	---	---
ESP 27211	61,44	71,31	60,87
ESP 27216	63,84	---	---
ESP 27219	---	---	---
ESP 2783	---	---	---
ESP 2790	---	---	---
ESP 2799	---	---	---
Total general	**60,69**	**70,99**	**58,26**

(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Tabla 3.4.2

Etiquetas de fila	Promedio de FE	Promedio de FE DTT	Promedio de FE MAG
21-04-2024	**47,31**	**70,27**	**46,60**
PTA 2712	59,78	71,18	59,15
PTA 2718	63,15	71,2	62,87
PTA 2720	39,28	70,06	38,32
PTA 2783	43,02	70,18	42,24
PTA 2790	51,42	70,56	50,73
PTA 2799	27,22	68,43	26,28
22-04-2024	**40,05**	**68,42**	**38,73**
PTA 2712	61,21	71,12	60,88
PTA 2718	63,96	71,21	63,59
PTA 2720	30,76	68,79	29,72
PTA 2783	30,78	66,56	29,31
PTA 2790	45,86	69,65	44,97
PTA 2799	18,32	64,55	14,97
23-04-2024	**43,00**	**68,28**	**38,08**
PTA 2712	61,49	71,14	60,94
PTA 2718	63,19	71,19	62,76
PTA 2720	23,02	67,88	22,19
PTA 2783	19,19	64,81	17,06
PTA 2790	43,71	68,71	42,43
PTA 2799	38,17	60,75	11,71
30-04-2024	**46,84**	**68,43**	**45,59**
PTA 27211	59,54	71,04	58,54
PTA 27216	63,75	66,12	62,82
PTA 27219	43,13	69,15	41,92
PTA 2783	38,23	68,07	36,76
PTA 2790	52,32	69,82	51,26
PTA 2799	24,095	66,38	22,23
01-05-2024	**44,65**	**69,30**	**43,37**
PTA 27211	60,89	71,03	59,81
PTA 27216	64,26	71,19	63,46
PTA 27219	40,67	69,77	39,54
PTA 2783	32,25	67,93	30,54
PTA 2790	51,76	70,38	50,89

PTA 2799	18,07	65,49	15,99
02-05-2024	**44,66**	**68,96**	**39,93666667**
PTA 27211	56,9	70,81	56,01
PTA 27216	63,79	71,08	62,68
PTA 27219	28,25	66,38	26,49
PTA 2783	30,06	67,9	28,18
PTA 2790	48,22	69,37	46,96
PTA 2799	21,62	66,1	19,3
03-05-2024	**39,52**	**67,80**	**38,13**
PTA 27211	59,79	70,86	58,99
PTA 27216	62,4	70,74	61,79
PTA 27219	22,1	65,49	20,44
PTA 2783	27,41	66,79	25,59
PTA 2790	48,74	69,72	47,47
PTA 2799	16,71	63,19	14,50
04-05-2024	**45,48**	**69,25**	**44,32**
PTA 27211	57,59	70,58	56,6
PTA 27216	63,18	70,89	62,42
PTA 27219	43,91	69,31	42,85
PTA 2783	36,3	68,89	35,26
PTA 2790	52,46	70,28	51,41
PTA 2799	19,43	65,55	17,37
05-05-2024	**50,10**	**70,66**	**49,25**
PTA 27211	60,63	71,1	59,8
PTA 27216	64,51	71,3	63,96
PTA 27219	47,17	70,36	46,16
PTA 2783	48,38	70,74	47,82
PTA 2790	55,77	70,83	54,96
PTA 2799	24,15	69,65	22,78
Total general	**44,12**	**68,86**	**42,14**

(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

3. 5. **Analizar los datos recopilados para identificar soluciones a nuestra problemática.**

Se realizó un análisis detallado de los resultados recopilados mediante la aplicación de herramientas estadísticas avanzadas. Los datos de calidad fueron correlacionados con las etapas críticas del proceso, lo que permitió identificar patrones asociados a las bajas de ley detectadas. Este enfoque analítico facilitó la comprensión de las interacciones entre las variables operativas y sus efectos sobre la calidad del material procesado, proporcionando una base técnica sólida para la toma de decisiones.

Se detectaron varias bajas de leyes de forma exacta (meses y días). Gracias a esta detección se realizaron charlas con el personal de mina y concluimos que la falla provenía de la toma de muestra de los equipos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4. 1. Caracterizar el proceso completo para definir los puntos críticos.

Para identificar los puntos críticos que afectan la calidad del material, se caracterizó el proceso completo de las campañas de "SINTER FEED", por lo que, a la empresa Mademet se le solicitó información sobre los análisis de las campañas de "SINTER FEED" con cinco meses de antigüedad, abarcando las siguientes etapas:

4.1.1 Extracción

- El material se recolecta de los bancos de explotación.
- Los camiones transportan el mineral al chancador primario.
- Las correas al chancador secundario y Harneros.

4.1.2 Transporte

El material procesado se distribuye mediante correas transportadoras (2718, 2712, 2720, 27216,27211,27219,2783,2790,2799, entre otras). Durante el transporte por estas correas es donde se les realiza el muestreo para analizar las calidades de las muestras.

4.1.3 Preparación de muestras

Las muestras recolectadas pasan por un proceso de cuarteo y se llevan a cabo controles de granulometría y humedad antes de ingresar a los análisis fisicoquímicos.

4.1.4 Análisis químico

Las muestras ya procesadas entran al laboratorio y se les hace análisis de DTT, hierro (Fe), fósforo (P) y azufre (S).

Cada uno de estos procesos y análisis fueron documentados y analizados para identificar las fallas que afectaron los resultados, como errores durante el muestreo o variaciones en los análisis.

4.1.5 **Comparar las calidades del material a través de las campañas mensuales.**

Se llevó a cabo una recopilación de datos correspondientes a las campañas de "SINTER FEED" realizadas en los últimos cinco meses. Estos datos fueron organizados en hojas de cálculo de Excel, clasificados por tipo de muestra, incluyendo muestras de planta, especiales (2718,2712,2720,27216,27211,27219,2783,2790,2799) y trenes (701 al 723).

A partir de esta información, se generaron gráficos específicos para cada campaña, lo que permitió calcular los promedios mensuales de calidad. Este enfoque facilitó la comparación de los resultados de manera más clara y explicativa, proporcionando una base sólida para el análisis y la interpretación de las tendencias en la calidad del material procesado.

Este análisis incluyó:

4.1.5.1 **Organización de datos**

Los datos se registraron en planillas de Excel, clasificando las muestras por tipo (planta, especiales y trenes).

Se incluyeron parámetros clave como Fe (hierro), P (Fosforo), S (Azufre) y DTT.

4.1.5.2 **Generación de gráficos**

Se elaboraron gráficos para cada campaña, permitiendo visualizar tendencias, desviaciones y patrones de cada una de las calidades en las muestras extraídas.

Los resultados se separaron por mes y se calcularon promedios para realizar comparaciones directas entre campañas.

4.1.5.3 **Interpretación de resultados**

Se identificaron periodos con bajos niveles de hierro y posibles correlaciones con fallas en los procesos de extracción o preparación.

Esta información nos serviría para plantear una mejora y encontrar una mejor solución a las variaciones de calidad que se encuentran en la planta.

4.1.6 **Identificar las fallas que provocan bajas en las leyes de las campañas.**

A partir de los datos recopilados durante los últimos cinco meses, se realizó un análisis exhaustivo para identificar las causas que provocan desviaciones en la calidad del material procesado. El proceso incluyó la evaluación de las etapas de extracción, transporte y análisis en el laboratorio. Entre las principales fallas detectadas se encontraron:

4.1.6.1 **Variedad del material**

Algunas muestras presentaron características distintas, como diferencias en color y textura, lo que indicó inconsistencias en las fuentes de extracción.

4.1.6.2 **Deficiencias en el procesamiento**

En ciertas campañas, se evidenciaron errores en el chancado y la pulverización, lo que afectó el tamaño de las partículas y su posterior análisis.

4.1.6.3 **Errores en el muestreo**

La falta de uniformidad, al tomar las muestras a lo largo de las correas transportadoras, generó resultados inconsistentes en los análisis químicos.

4.1.6.4 **Problemas operativos en los equipos**

Algunas desviaciones en los parámetros granulométricos y de humedad estuvieron asociadas con fallos en los equipos, como el divisor rotatorio y el horno de secado.

4.1.7 **Analizar los datos recopilados para identificar soluciones a nuestra problemática.**

Con base en las fallas detectadas, se propusieron soluciones orientadas a optimizar los procesos y garantizar que el material cumpla con la ley requerida del 63% de hierro. Estas incluyeron:

4.1.7.1 **Implementación de un sistema de control automatizado**

- Utilizar equipos de análisis en tiempo real, como difractómetros de rayos X, para evaluar la calidad del material directamente en las correas transportadoras.
- Incorporar sensores para monitorear parámetros como humedad y granulometría.

4.1.7.2 **Mejoras en el muestreo y la preparación:**

- Estandarizar los procedimientos de muestreo para garantizar la representatividad de las muestras.
- Realizar capacitaciones al personal encargado del muestreo y del manejo de los equipos en laboratorio.

4.1.7.3 **Optimización de las etapas de procesamiento:**

- Implementar rutinas de mantenimiento preventivo en los equipos de chancadores, pulverizadores, harneros, tambores magnéticos y secado.

- Ajustar las configuraciones de los equipos para asegurar una granulometría uniforme y minimizar la pérdida de material.

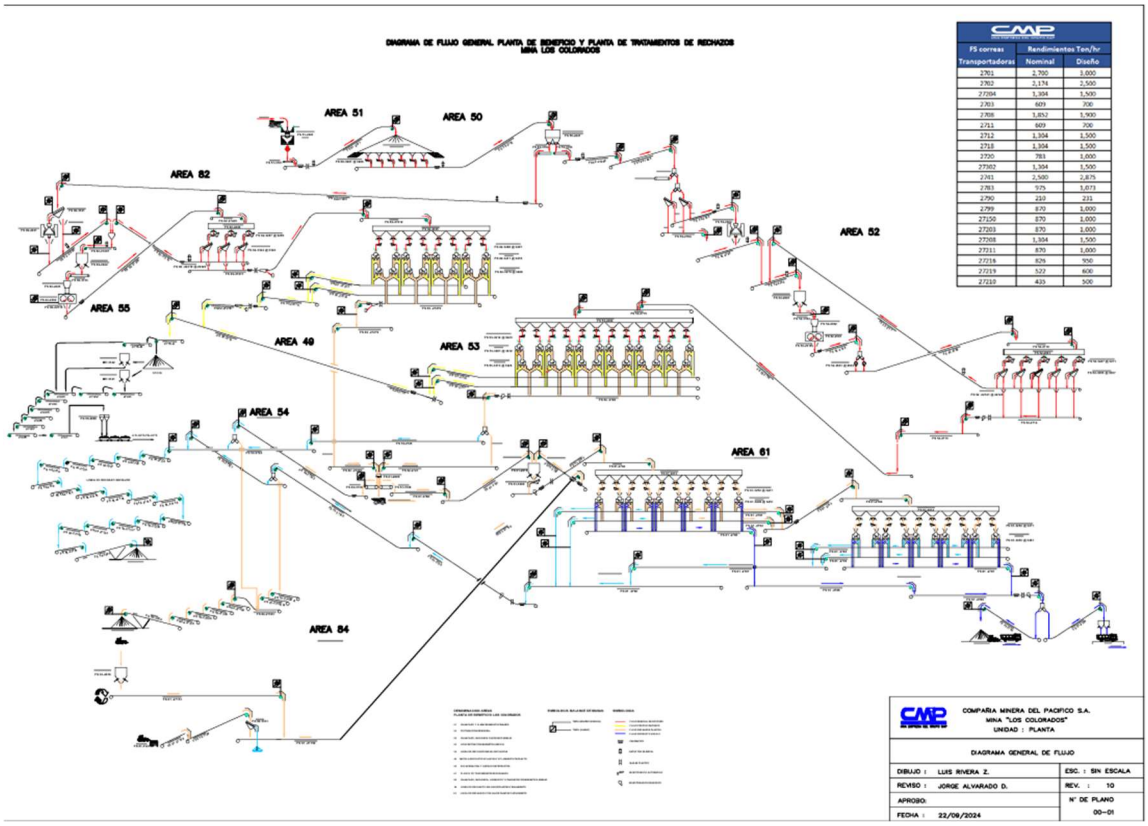
4.1.7.4 **Monitoreo continuo y análisis estadístico:**

- Establecer registros detallados de cada campaña, utilizando software de análisis estadístico para identificar tendencias y correlaciones.
- Generar reportes periódicos que incluyan gráficos comparativos por campañas y recomendaciones específicas para cada etapa del proceso.

Estas soluciones permitirían no sólo mejorar la calidad del material, sino también reducir los costos operativos y el tiempo invertido en análisis, contribuyendo a un proceso más eficiente y confiable. También, permitirían establecer una base para priorizar los puntos críticos que deben ser abordados en las mejoras.

4. 2. **Diagrama de flujos.**

Figura 4.2. 2 Diagrama de flujo



4.2.1 **Recepción y Almacenamiento.**

- **Transporte Primario:** El mineral extraído es llevado a través de correas transportadoras hacia un chancador primario, donde se realiza la primera etapa de reducción de tamaño del mineral.
- **Almacenamiento:** El material triturado se almacena en una pila de almacenamiento primarias, desde donde se distribuirá para el siguiente proceso.

4.2.2 **Procesamiento Secundario.**

- **Chancado Secundario:** El mineral almacenado pasa por una segunda etapa de trituración, en un chancador secundario, para seguir reduciendo su tamaño.
- **Harnero Secundario:** Después del chancado secundario, el material es sometido a un proceso de clasificación granulométrica mediante un harnero.
- **Distribución:** El mineral clasificado se transporta a través de correas hacia las siguientes etapas de procesamiento o almacenamiento temporal.

4.2.3 **Procesamiento Terciario.**

- **Chancador y Harnero Terciario**: El material puede pasar por un chancador terciario y harneros, si se requiere mayor reducción o clasificación de tamaño.
- **Separación Magnética:** En esta etapa, se utiliza un tambor magnético para separar el material magnético de la ganga.

4.2.4 **Preparación Final.**

- **Concentración Magnética**: Se realizan procesos de separación adicionales con tambores magnéticos primarios y secundarios para enriquecer el contenido de hierro.

4.2.5 **Manejo de Residuos.**

- **Gestión de Rechazos:** El material de rechazo se transporta a través de una correa hacia un área de almacenamiento final. Existe una correa para rechazos con valor y otra para rechazos sin valor.

4.2.6 **Transporte Final.**

- El material procesado se carga directamente a los trenes los cuales transportan el material a planta de pellet.

4. 3. **Realización de gráficos**

Gracias a la recopilación de datos obtenidos durante los cinco meses de antigüedad solicitados para este proyecto, se llevó a cabo un análisis detallado y la elaboración de los

gráficos presentados a continuación. Estos gráficos reflejan los resultados obtenidos en cada campaña de "SINTER FEED", acompañados del análisis correspondiente requerido por la empresa. Dichos análisis fueron realizados de manera mensual, en función de la duración de las campañas.

En este contexto, se efectuaron análisis específicos para cada tipo de muestra de "SINTER FEED", evaluando parámetros clave como DTT, Fe (Hierro), P (Fósforo), S (Azufre) y su ley magnética asociada. Las muestras fueron clasificadas en las categorías de Planta, Trenes y Especiales, según lo estipulado por los requerimientos de la empresa. Este proceso permitió obtener datos relevantes y representativos sobre la calidad del material procesado.

Los gráficos generados presentan el promedio de los análisis realizados para cada tipo de muestra, organizados y separados según las fechas en las que se efectuaron. Esta estructuración permite identificar de manera clara las variaciones y tendencias a lo largo del período evaluado, facilitando una interpretación precisa de los resultados y una comprensión detallada del comportamiento de cada campaña.

Además, la organización estructurada de esta información ha permitido al equipo de trabajo realizar estudios más profundos y detallados. Esto ha proporcionado herramientas esenciales para identificar con mayor precisión las fallas ocurridas durante las campañas, lo que ha llevado a la formulación de soluciones más adecuadas y fundamentadas. Dichas propuestas están alineadas con los objetivos y necesidades establecidos por la empresa, contribuyendo a la mejora continua del proceso.

4.3.1 **Gráficos por Campaña**

4.3.1.1 **Gráficos de especiales.**

En los gráficos de muestras especiales que se mostrarán más adelante, podemos apreciar que las calidades de material casi siempre están dentro de la ley requerida, ya que cada vez que inician las campañas estas muestras son para verificar que las calidades de las muestras estén dentro del rango requerido.

4.3.1.2 **Gráficos de hierro y ley magnética.**

Los gráficos de DTT Planta, nos muestran análisis de hierro y de ley magnética. Se pueden comprobar los porcentajes de hierro y si las calidades del material procesado están dentro de la ley, ya que este análisis arroja la calidad real del hierro (63%). Ya que esto asegura un material de alta calidad, adecuado para la producción de acero.

4.3.1.3 **Gráficos de fósforo.**

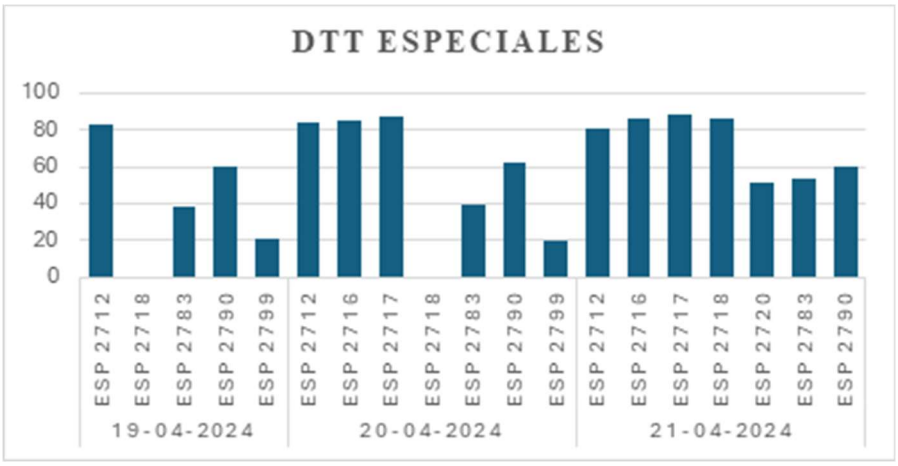
En estos gráficos podemos apreciar las calidades de fósforo, las que deben tener un nivel más puro de fósforo que otras muestras, ya que, entre más bajas las calidades de fósforo más puras darán las calidades en el análisis de hierro. Un contenido elevado de fósforo puede disminuir la resistencia del acero y hacer que sea quebradizo.

4.3.1.4 **Gráficos de azufre.**

En estos gráficos podemos apreciar las calidades de azufre y tanto como en calidad de fosforo esta también debe contener un nivel más bajo de azufre para tener una mejor calidad de hierro. Un contenido elevado de fósforo puede disminuir la resistencia del acero y hacer que sea quebradizo.

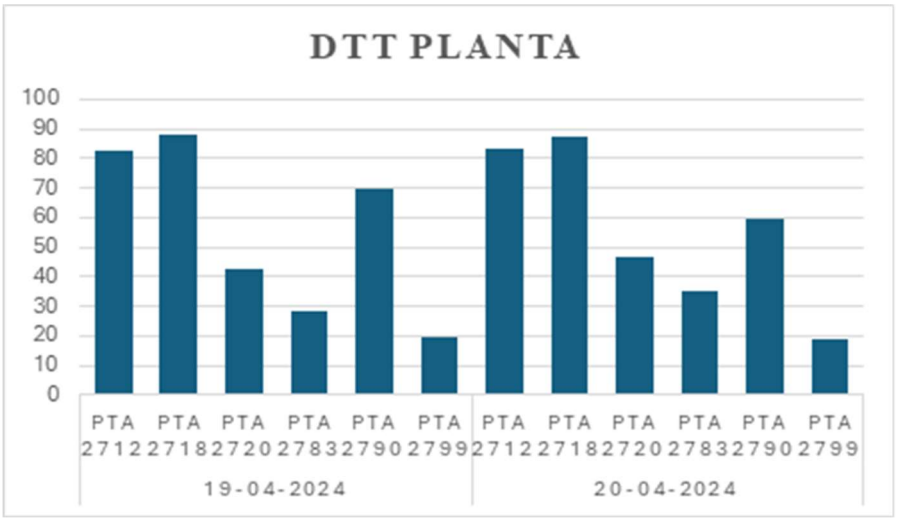
4.3.1.5 **Campaña 1**

Gráfico 4.3.1. 1.6



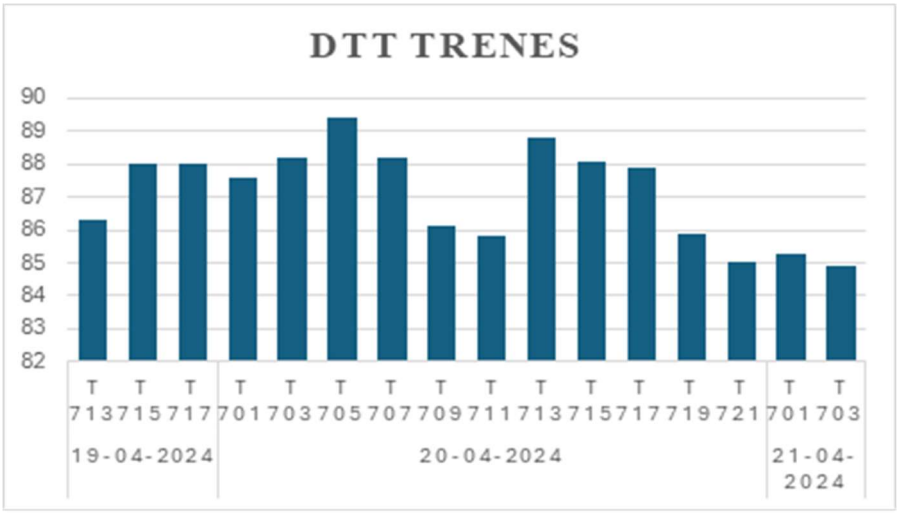
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.7



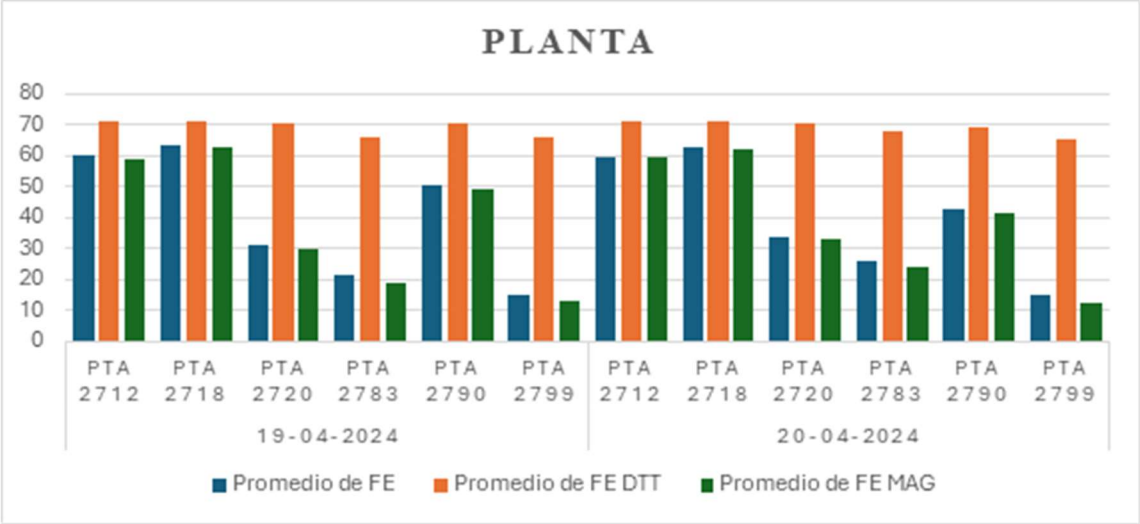
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.8



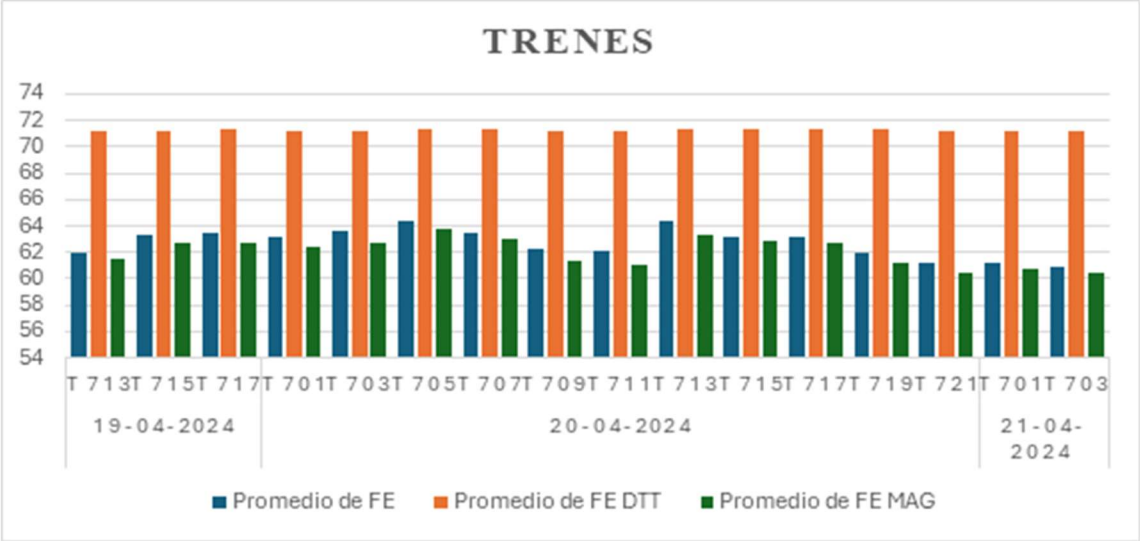
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.9



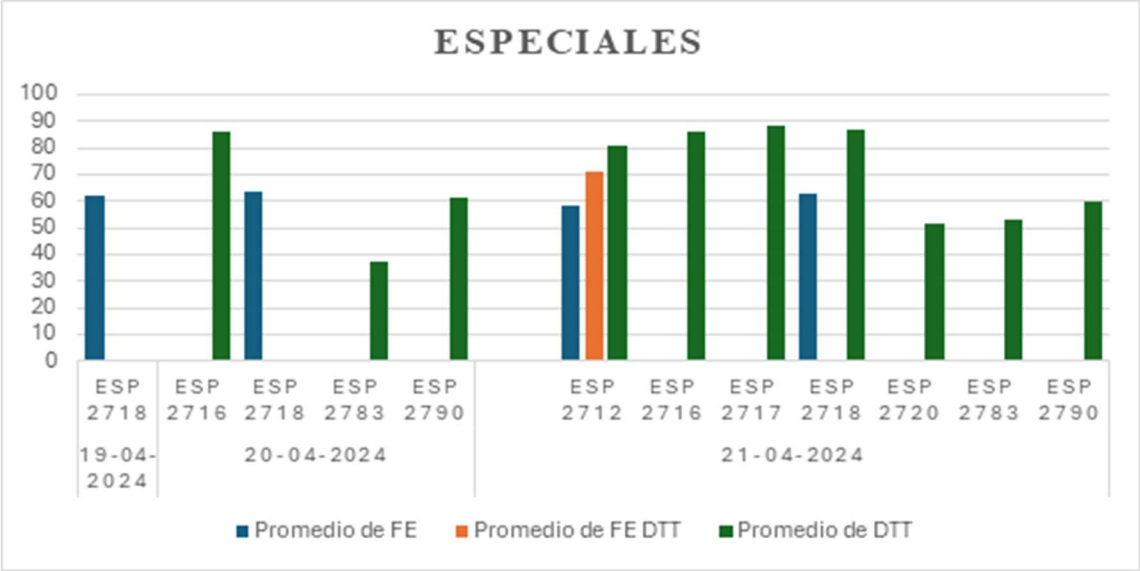
(Creación Propia; Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.10



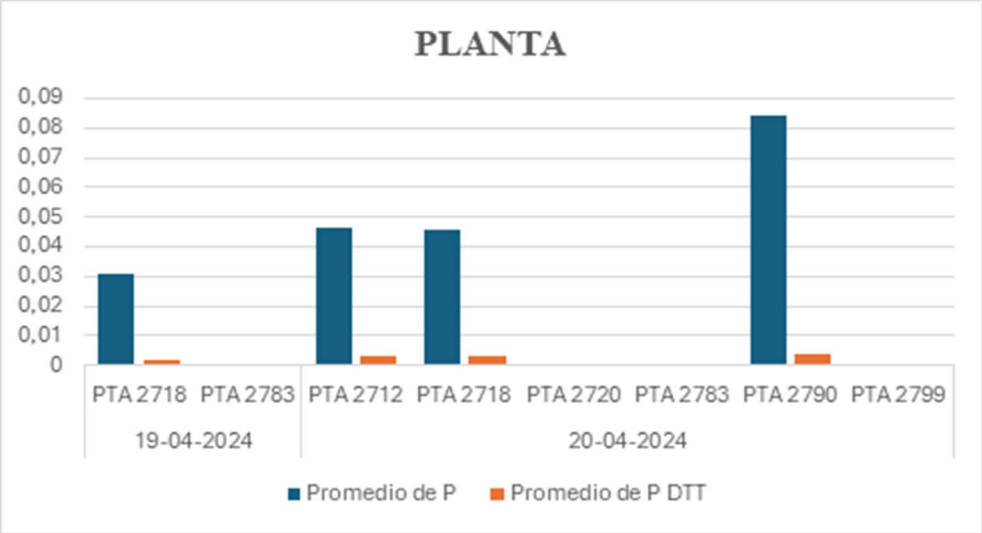
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.1.11



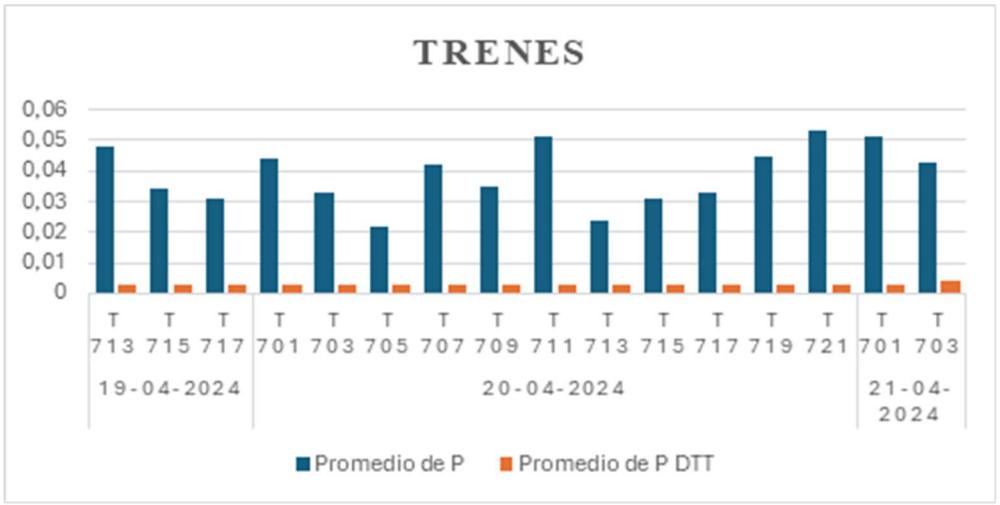
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.12



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.1.13



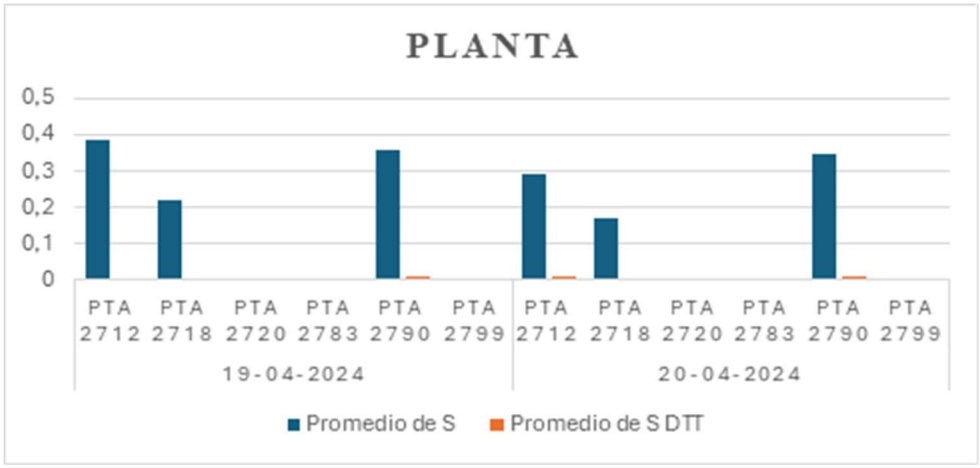
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.14



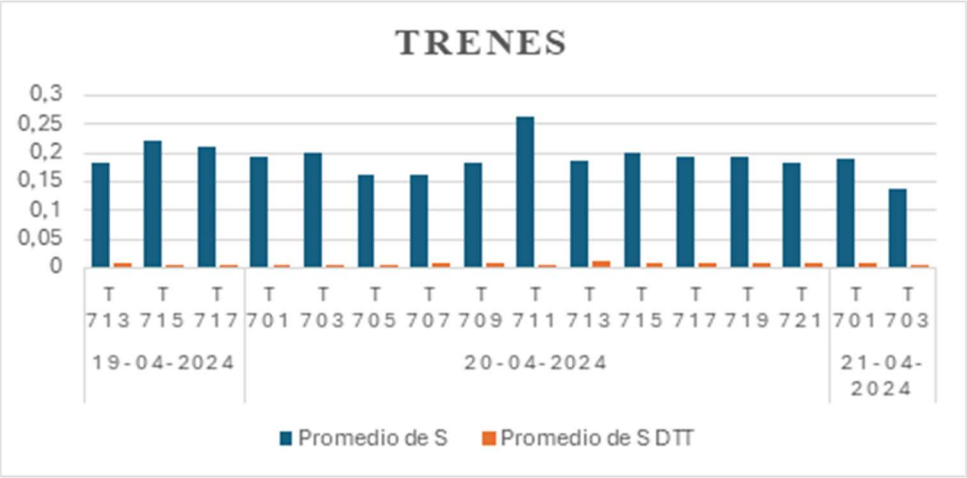
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.15



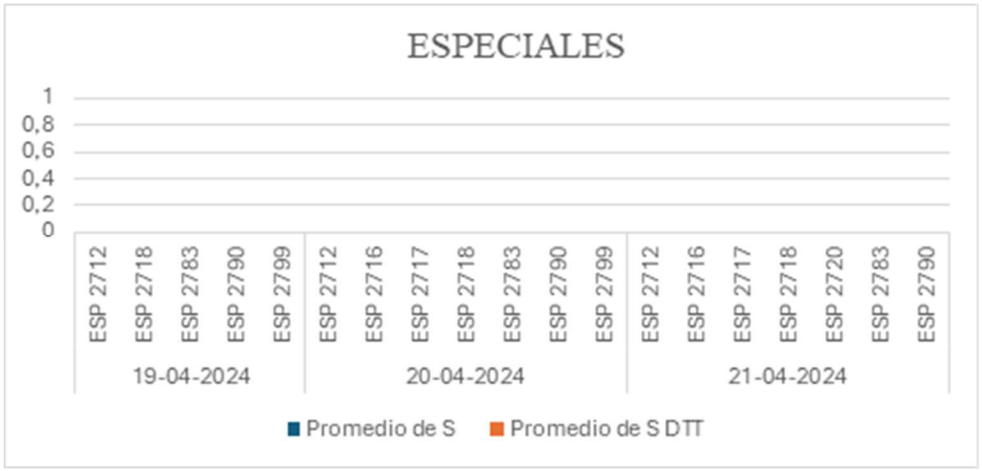
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 1.16



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.17



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

4. 4. **Solución del Problema.**

4.4.1 **Difractor de Rayos X.**

Un difractómetro de rayos X (XRD, por sus siglas en inglés) es una herramienta esencial en la caracterización mineralógica dentro del sector minero. Este equipo se utiliza para analizar las estructuras cristalinas de los minerales presentes en las muestras obtenidas durante los procesos de exploración y explotación minera. La técnica de difracción de rayos X se basa en la interacción de los rayos X con los cristales de los minerales, generando un patrón único de difracción que permite identificar con precisión las fases minerales presentes en la muestra.

El XRD destaca por su capacidad para identificar minerales incluso en concentraciones bajas, lo cual es fundamental para evaluar la calidad del mineral y optimizar los procesos de extracción. Mediante esta técnica, es posible identificar una amplia variedad de minerales, como óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos, entre otros. Este análisis contribuye significativamente a la toma de decisiones relacionadas con la viabilidad económica de los proyectos mineros, la planificación de las actividades de extracción y el diseño de tratamientos adecuados para los materiales procesados.

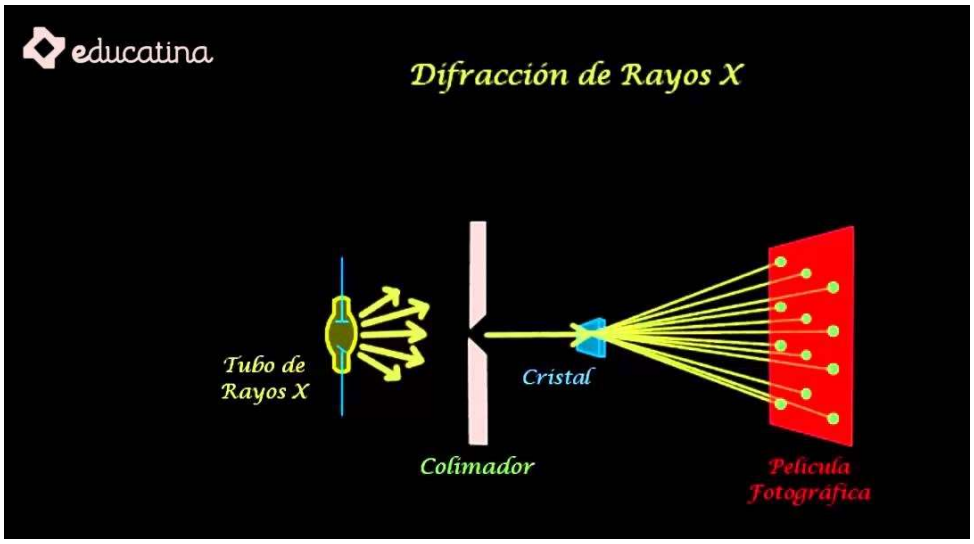
Además de la identificación mineralógica, el análisis mediante XRD proporciona información detallada sobre la cristalografía de los minerales, incluyendo el tamaño de los cristales y la distribución de las fases. Este tipo de información resulta crucial para el control de calidad en las operaciones mineras, el monitoreo de los procesos y la optimización de los recursos, ya que ciertos minerales pueden influir significativamente en la eficacia de métodos de procesamiento como la flotación o la lixiviación.

En el contexto de la minería moderna, el uso de difractómetros de rayos X no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sector. Su capacidad para maximizar el aprovechamiento

de los recursos minerales y minimizar el impacto ambiental de los procesos mineros convierte al XRD en una herramienta clave para las prácticas responsables en la industria.

Este trabajo de tesis se centra en los principios fundamentales, aplicaciones y beneficios del uso del difractómetro de rayos X en la minería, destacando su papel en la mejora de la precisión en la caracterización de minerales y en la optimización de los procesos industriales relacionados.

Figura 4.1. 1 Difractor de Rayos X



Fuente: Espectrometria, n.d.

CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN

El análisis de las campañas de “SINTER FEED” en la mina Los Colorados permitió identificar los principales factores que afectan la calidad del material procesado, así como los desafíos asociados al cumplimiento de la ley mínima requerida del 63% de hierro. Entre los hallazgos más relevantes se detectaron deficiencias en los procedimientos de muestreo, fallas operativas en los equipos, y variaciones en los procesos de chancado y pulverización, que influyen directamente en la calidad final del producto.

La comparación de campañas mensuales evidenció variaciones clave, mientras que el análisis de las fallas ayudó a identificar las causas de las bajas en las leyes. Finalmente, el estudio de los datos recopilados facilitó la propuesta de soluciones prácticas y sostenibles para abordar la problemática y mejorar el desempeño global.

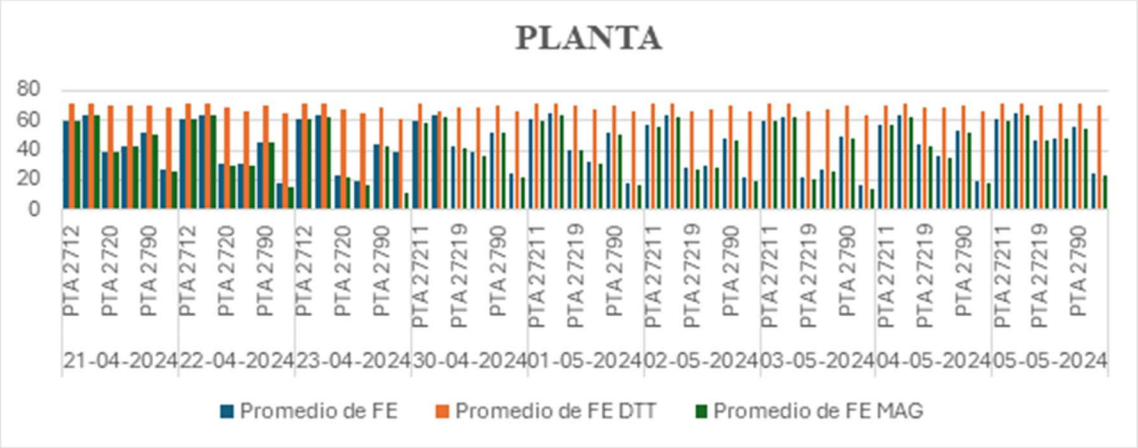
Como solución, se propuso la implementación de un sistema de análisis automatizado en tiempo real mediante el uso de difractómetros de rayos X instalados en las correas transportadoras. Esta tecnología permitiría obtener datos precisos e inmediatos sobre la composición mineralógica del material, optimizando la eficiencia operativa y garantizando un control más riguroso de la calidad. Además, la automatización reduciría significativamente los costos operativos, el tiempo de análisis y la dependencia del personal para la realización de estas tareas.

En conclusión, las recomendaciones planteadas representan una estrategia integral para superar las limitaciones actuales, garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos y reforzar la competitividad de las operaciones de la Compañía Minera del Pacífico (CMP). La implementación de estas mejoras contribuirá de manera sustancial al desarrollo sostenible y rentable de las actividades mineras en Los Colorados, alineándose con las mejores prácticas del sector.

ANEXOS

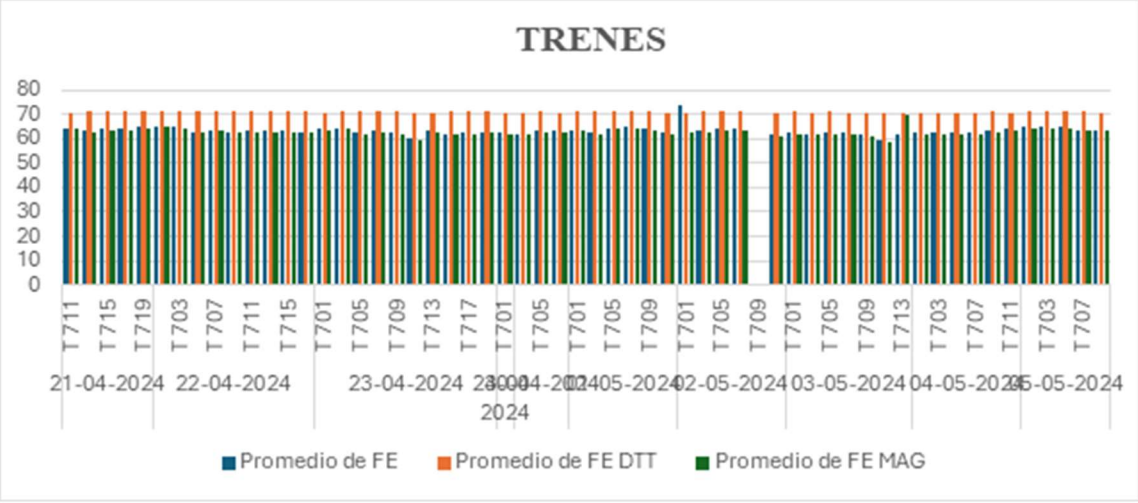
ANEXO 1: Gráficos Campaña 2

Gráfico 4.3.1. 2.18



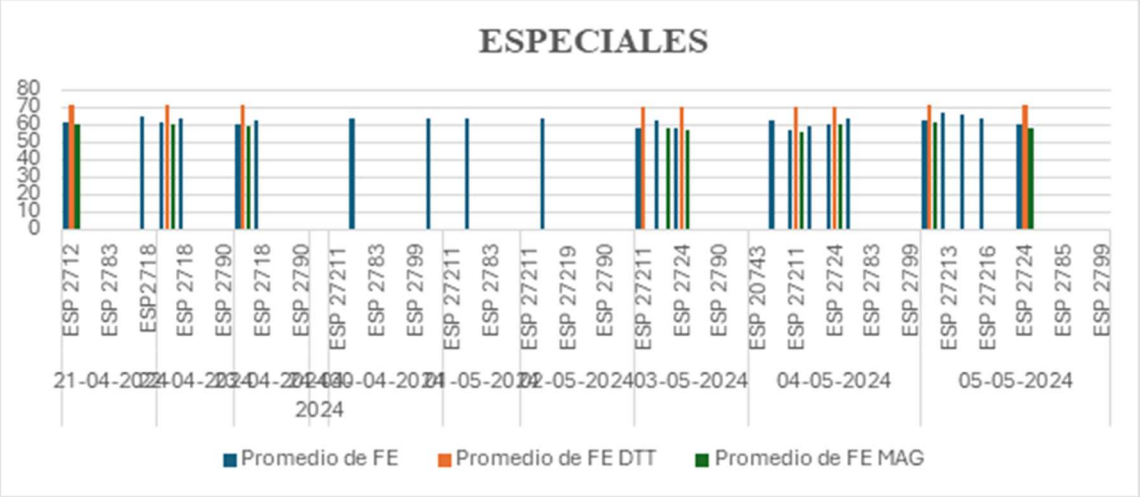
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.19



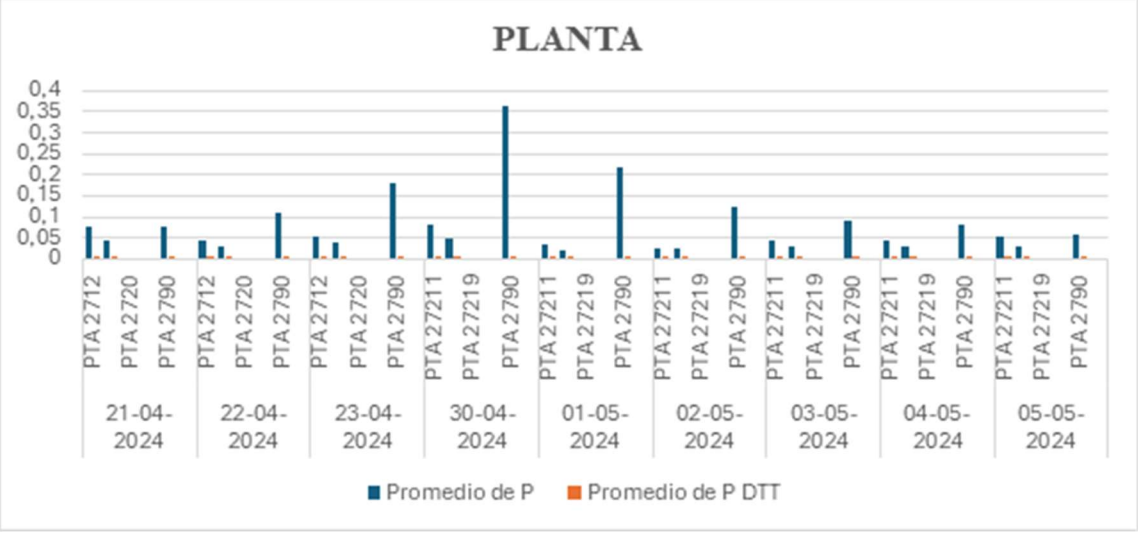
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.20



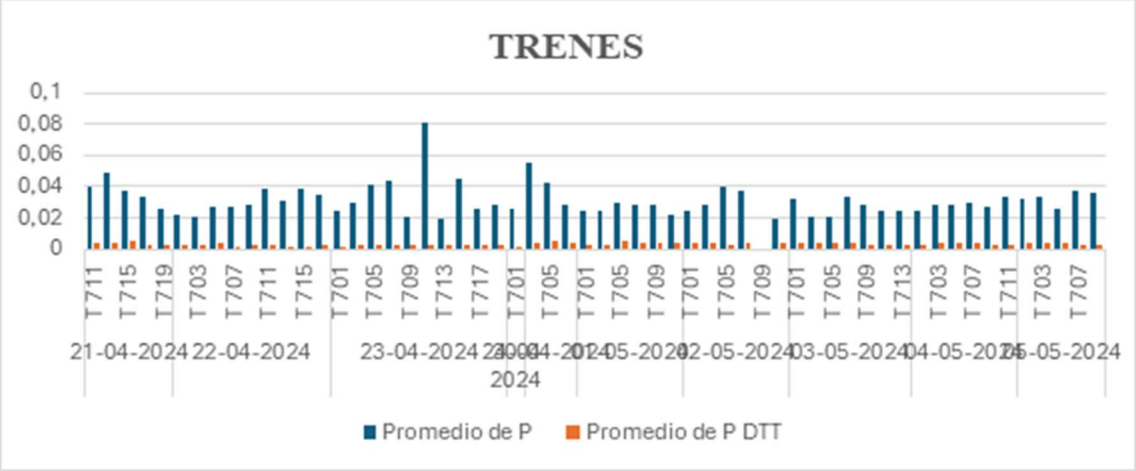
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.21



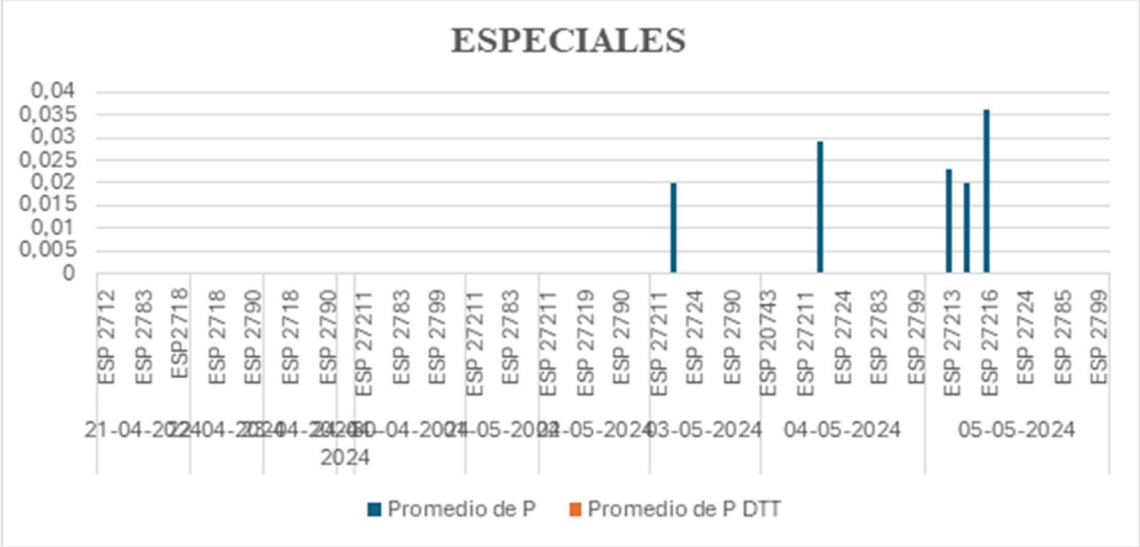
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.22



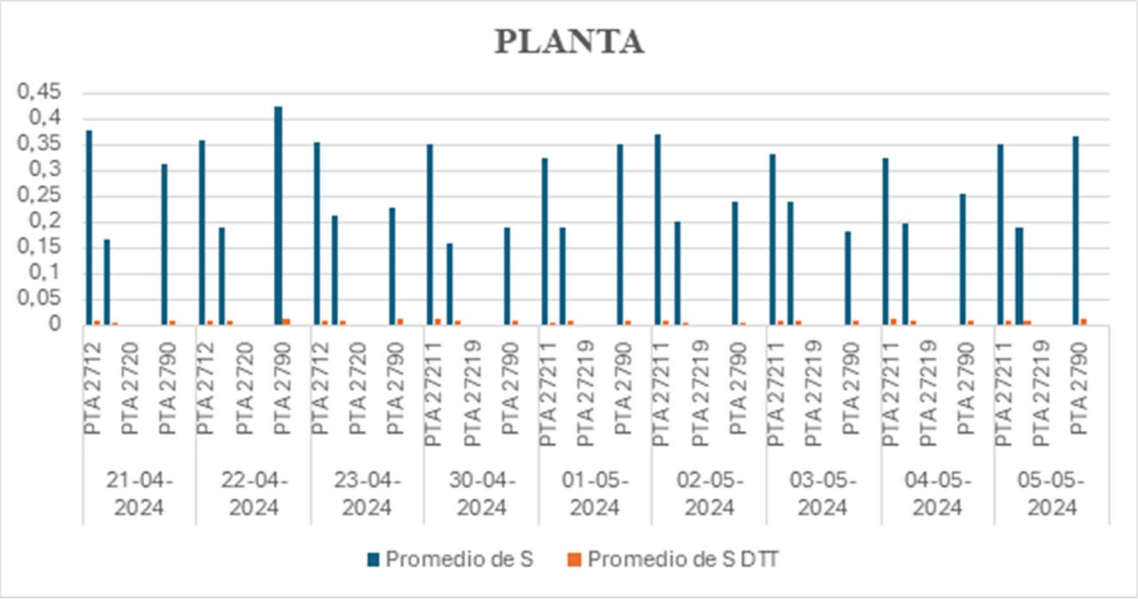
(Creación Propia; Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.23



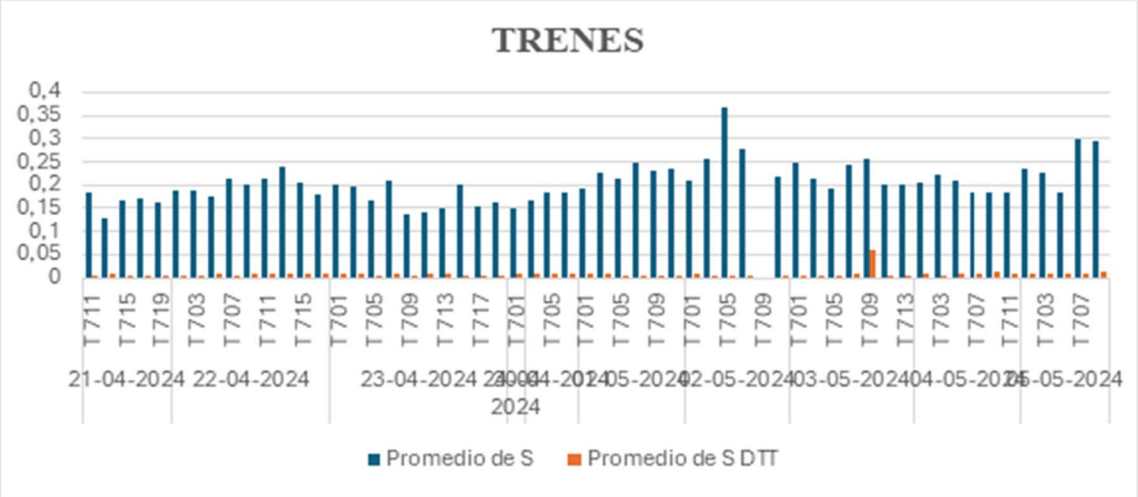
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.24



(Creación Propia; Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.25



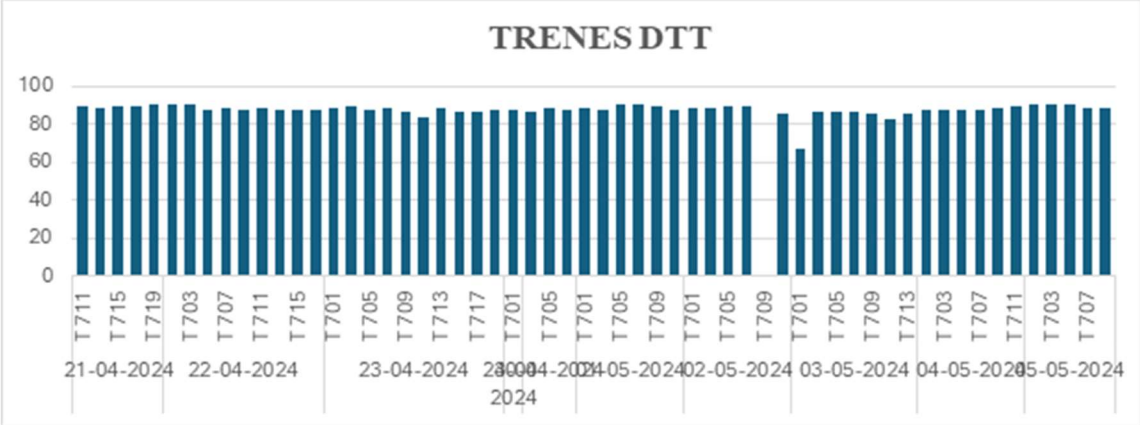
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.26



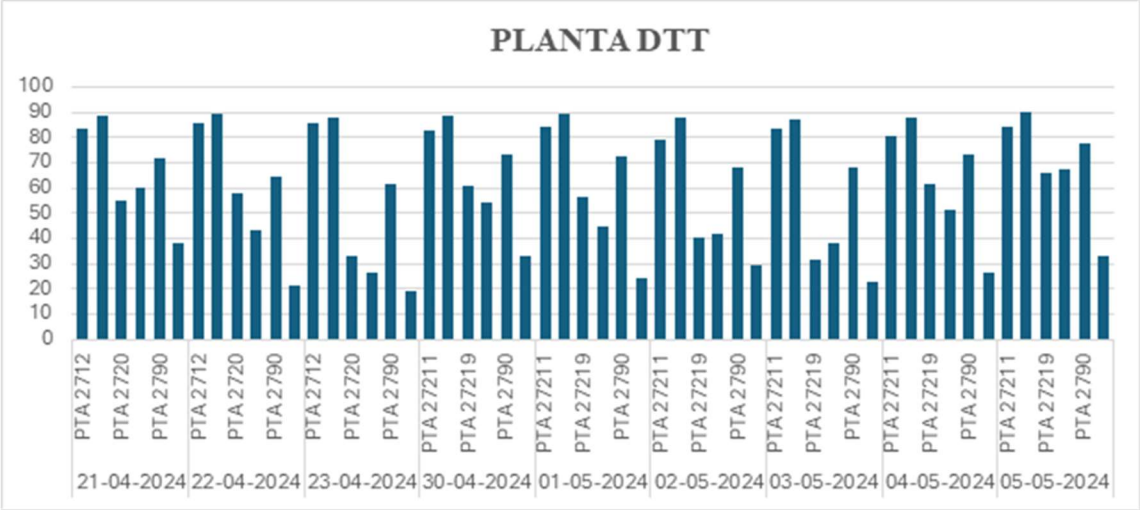
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.27



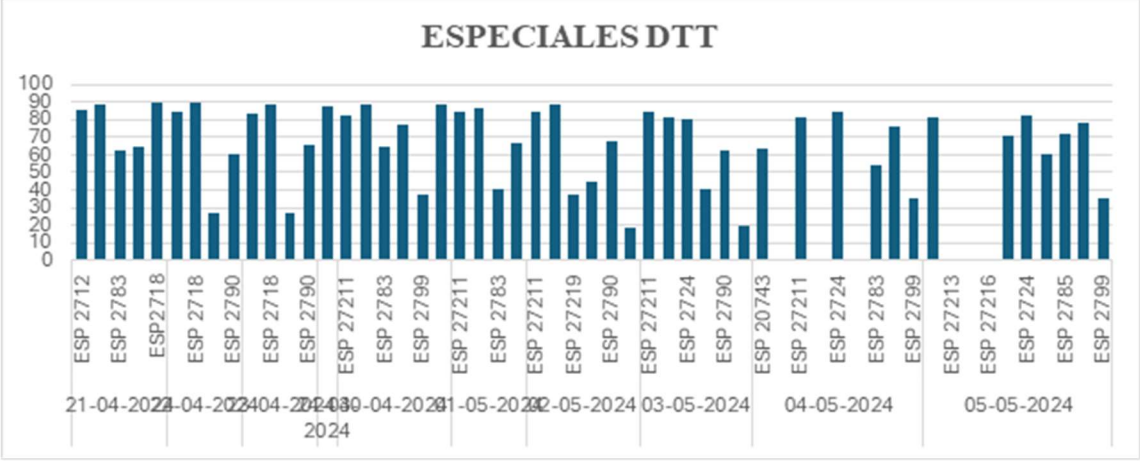
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1. 2.28



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

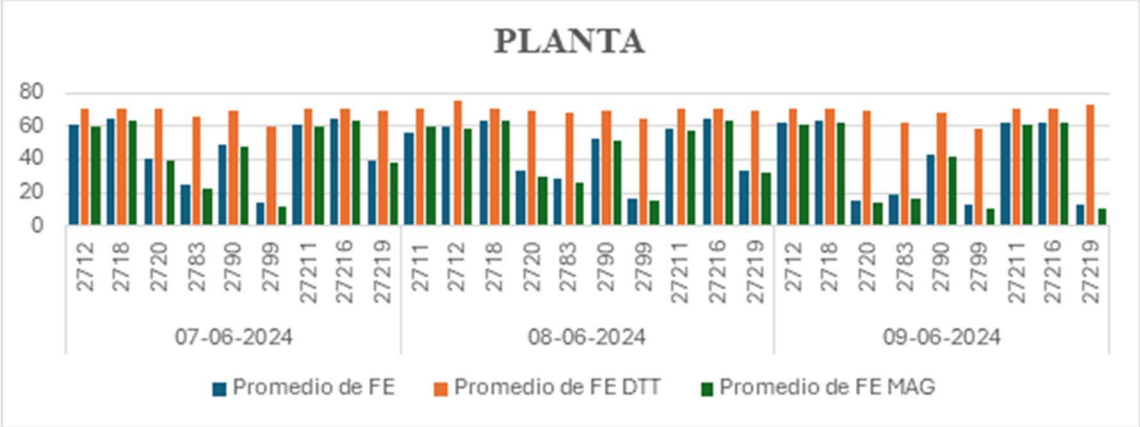
Gráfico 4.3.1. 2.29



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

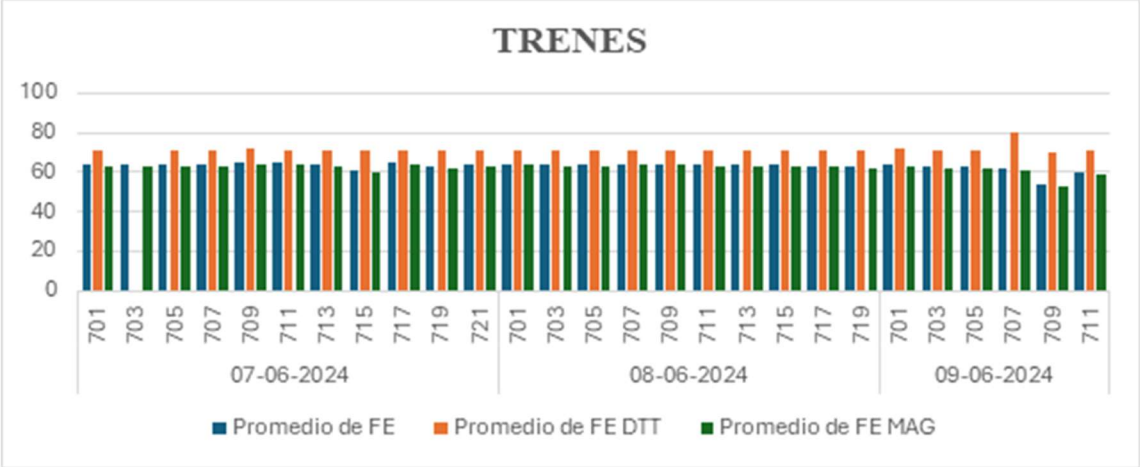
ANEXO 2: **Gráficos Campaña 3**

Gráfico 4.3.1.3.30



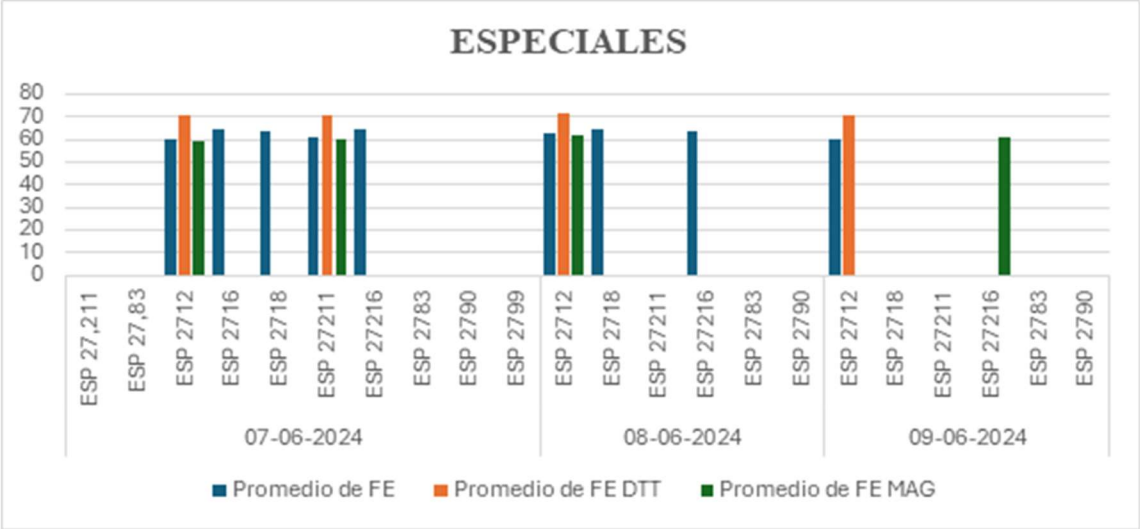
(Creación Propia; Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.31



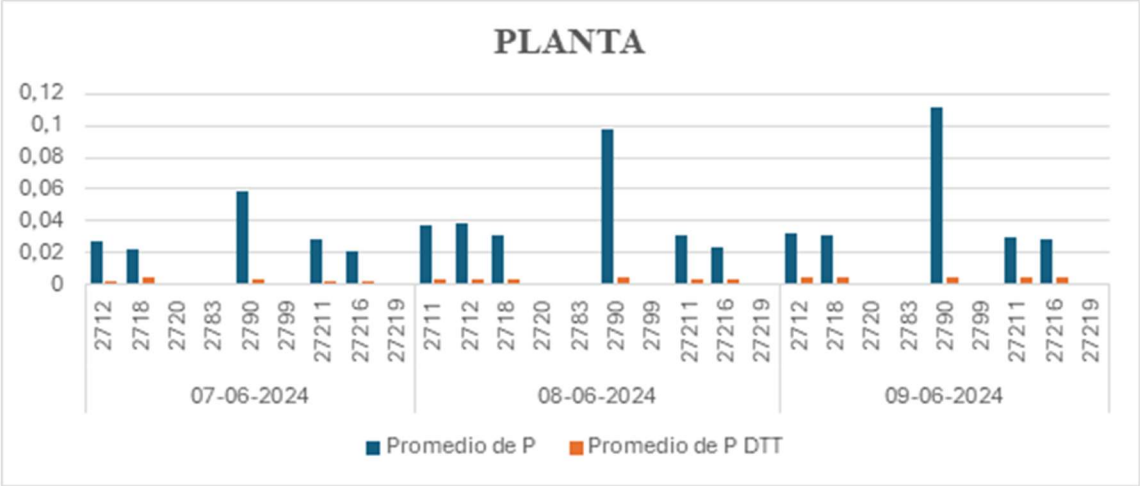
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.32



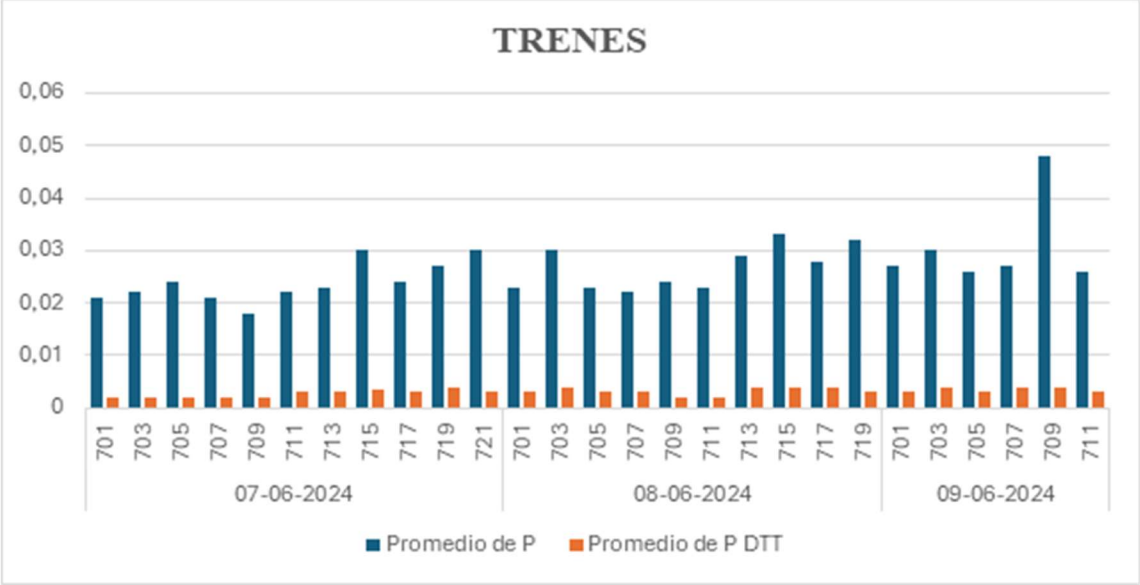
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.33



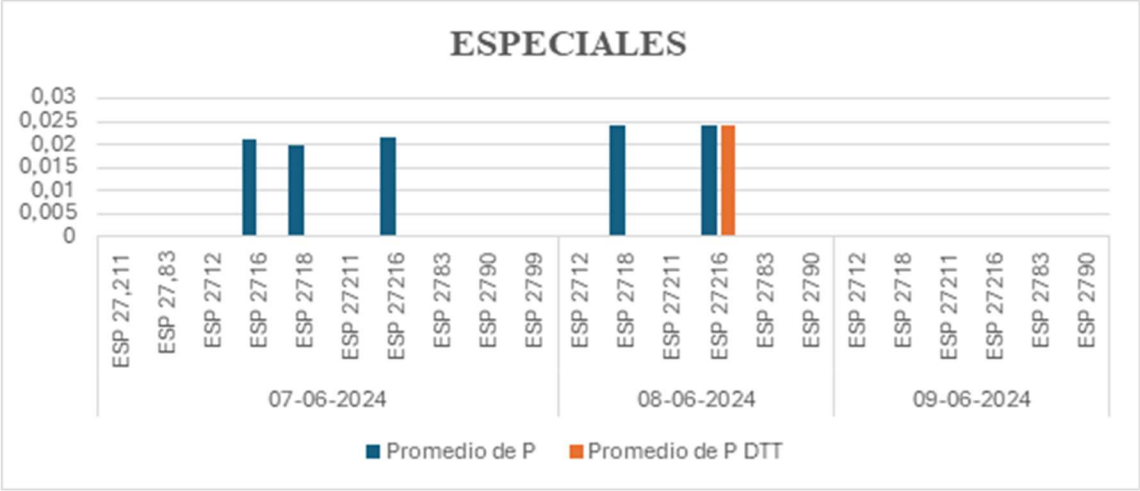
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.33



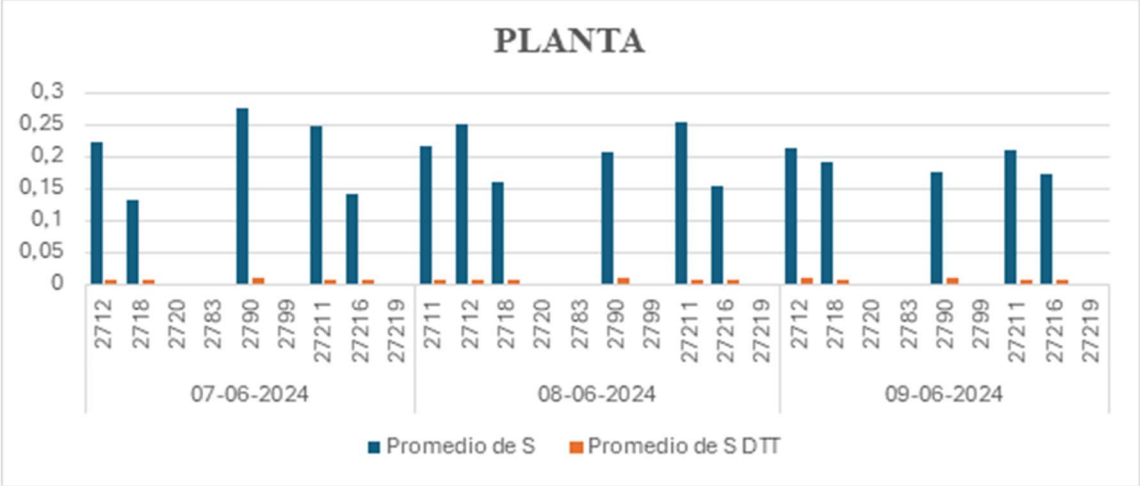
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.34



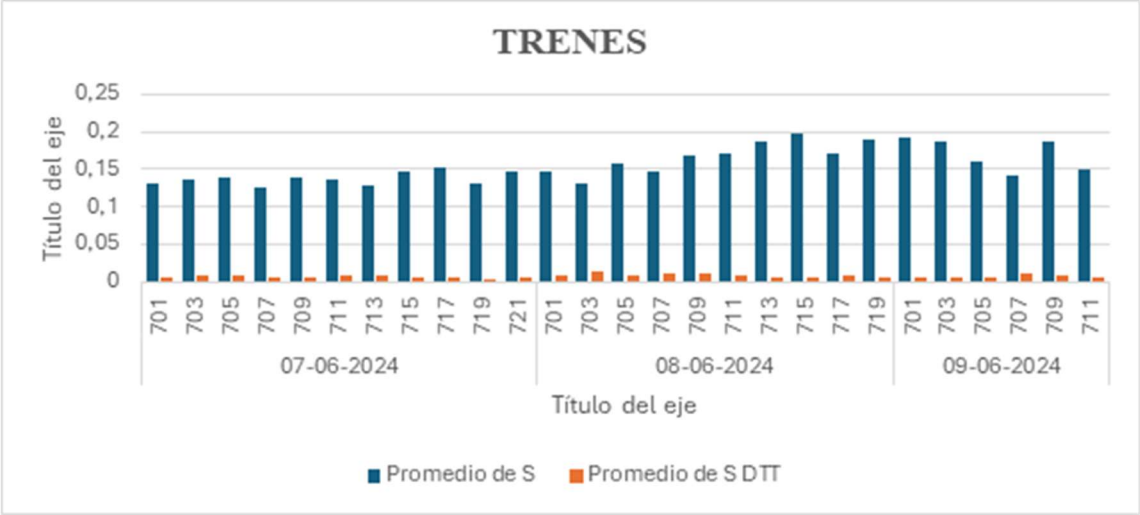
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.35



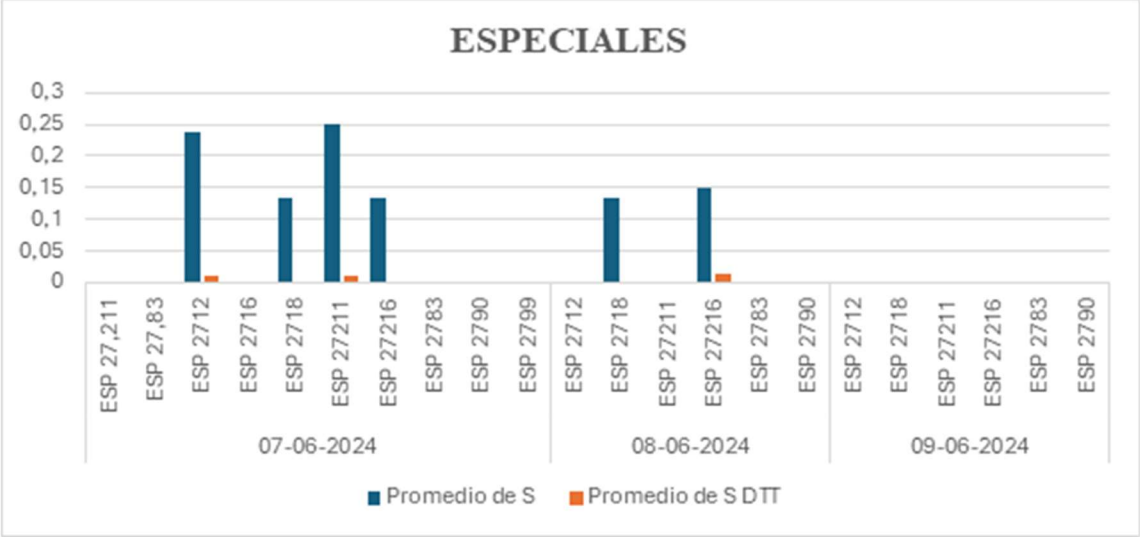
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.36



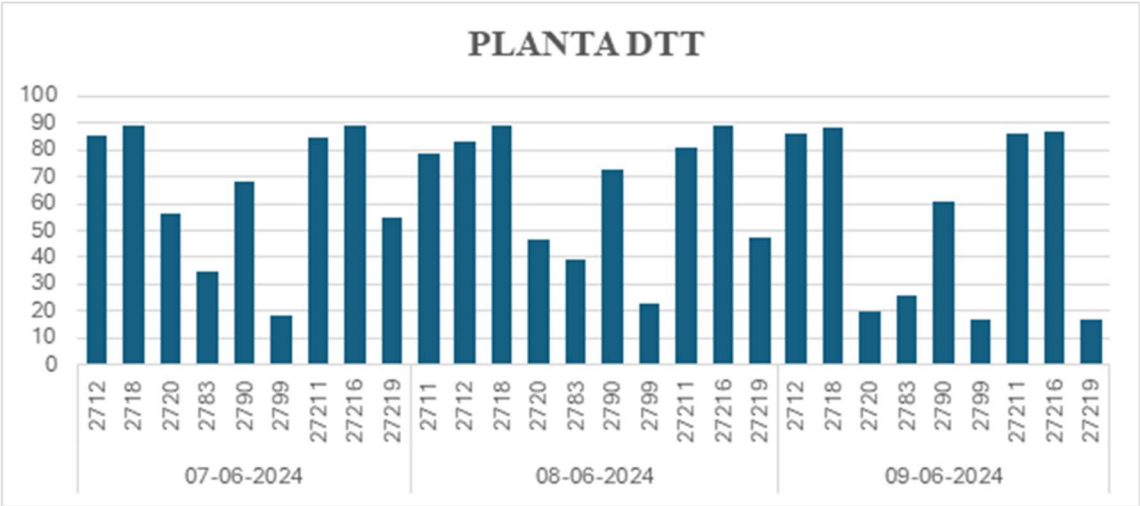
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.37



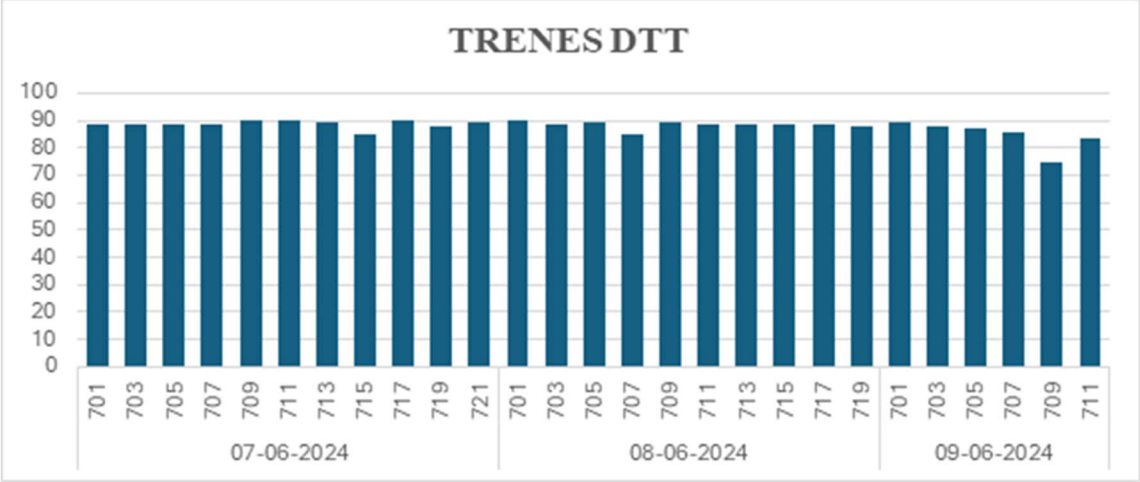
(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.38



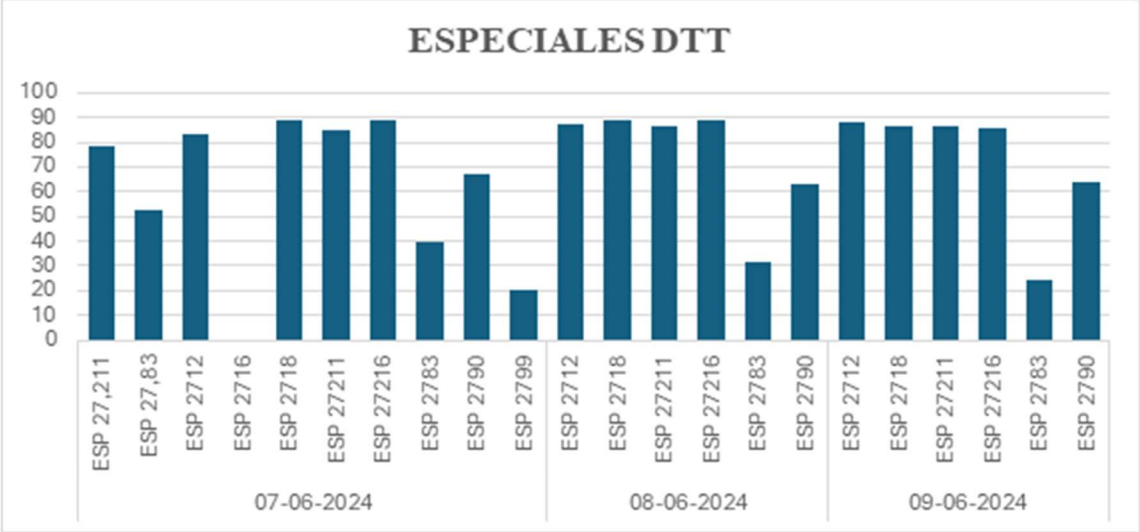
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.3.39



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

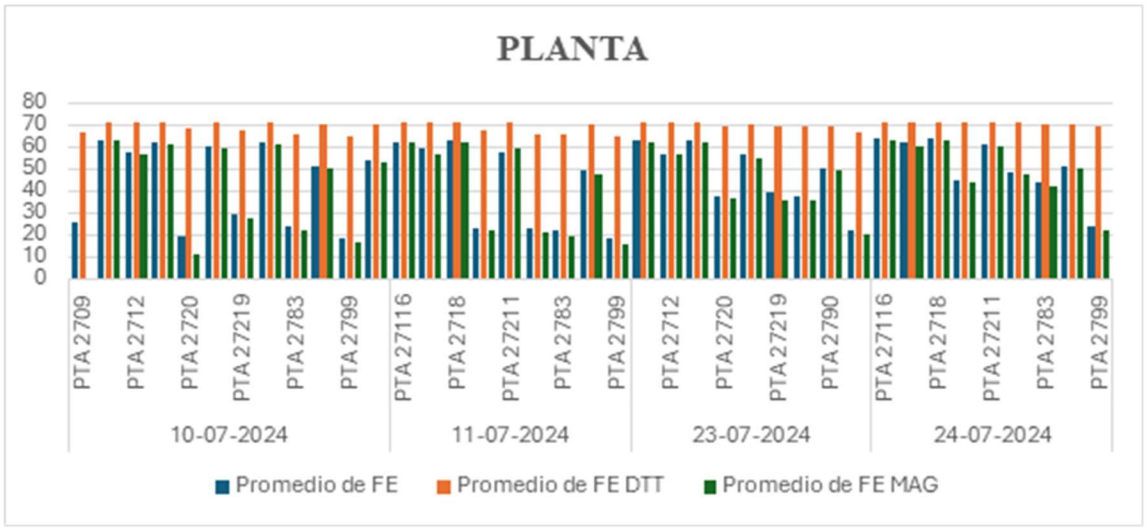
Gráfico 4.3.1.3.40



(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

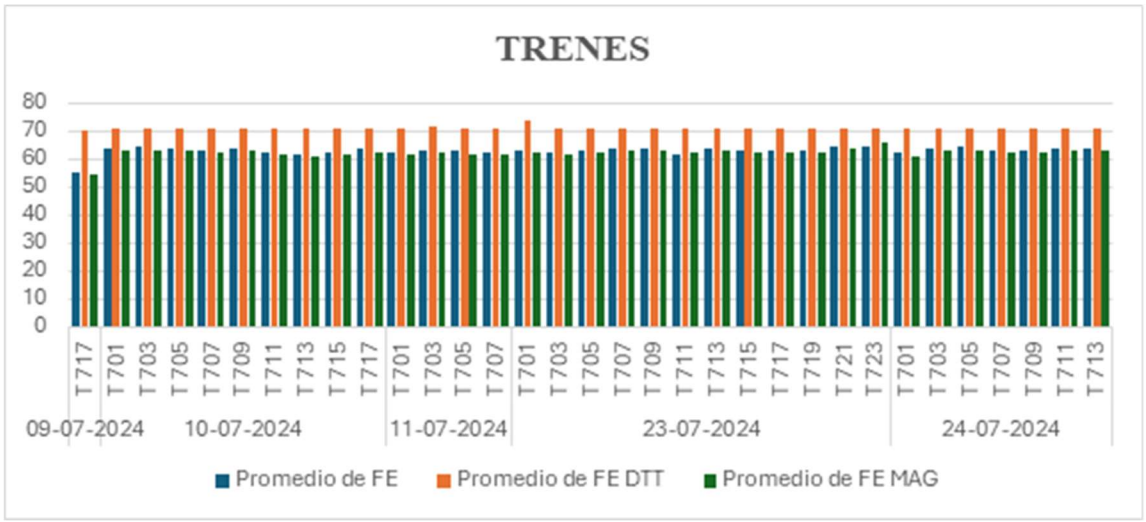
ANEXO 3: Gráficos Campaña 4

Gráfico 4.3.1.4.41



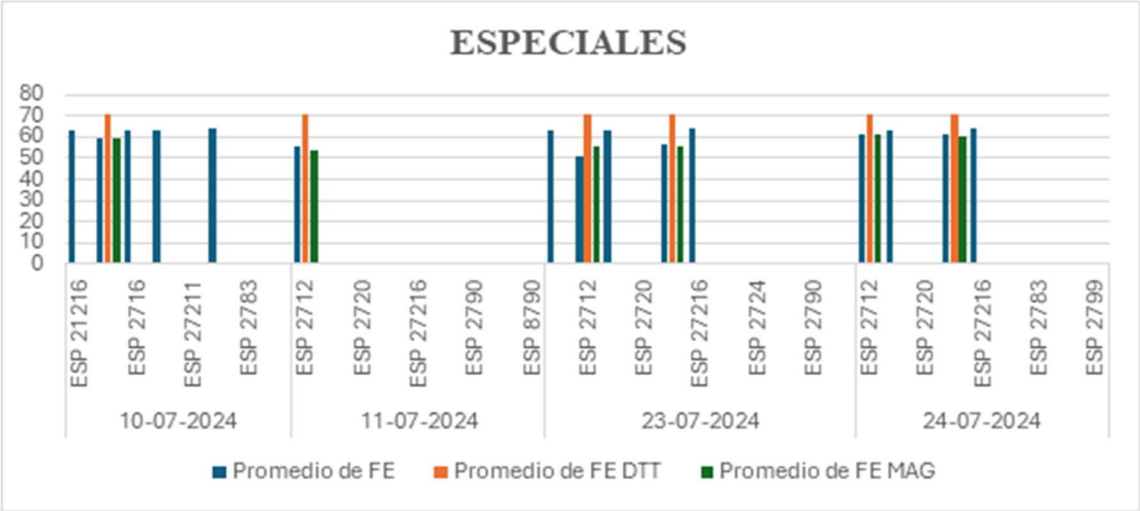
(Gráfico 4.3.1.4.41 Planta, Campaña 4, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.42



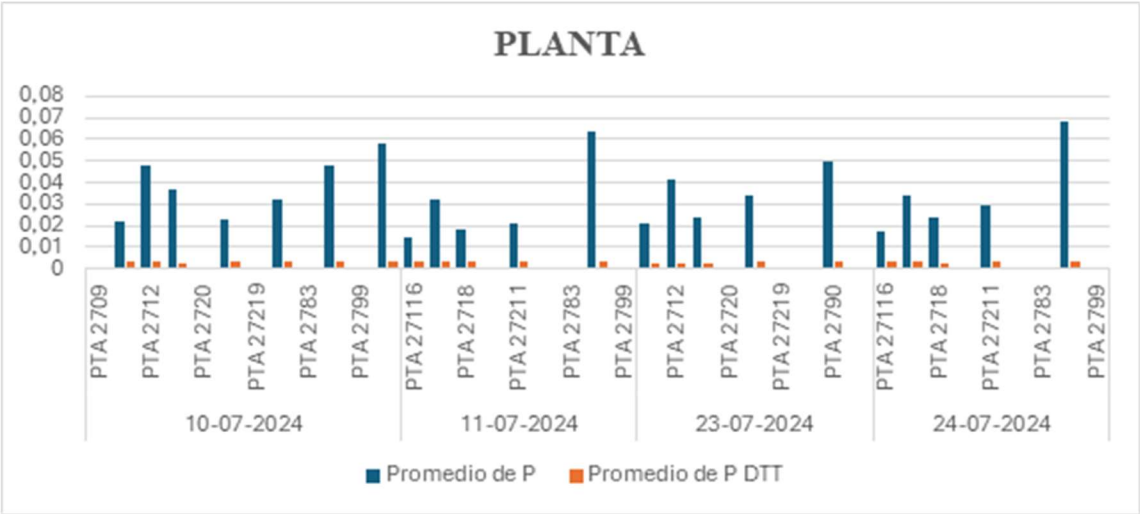
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.44



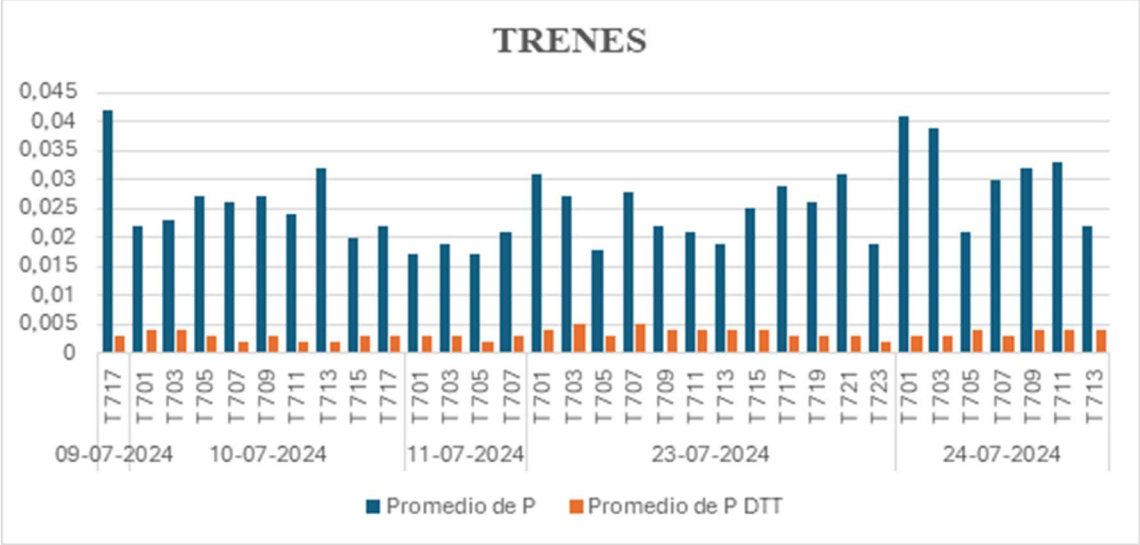
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.45



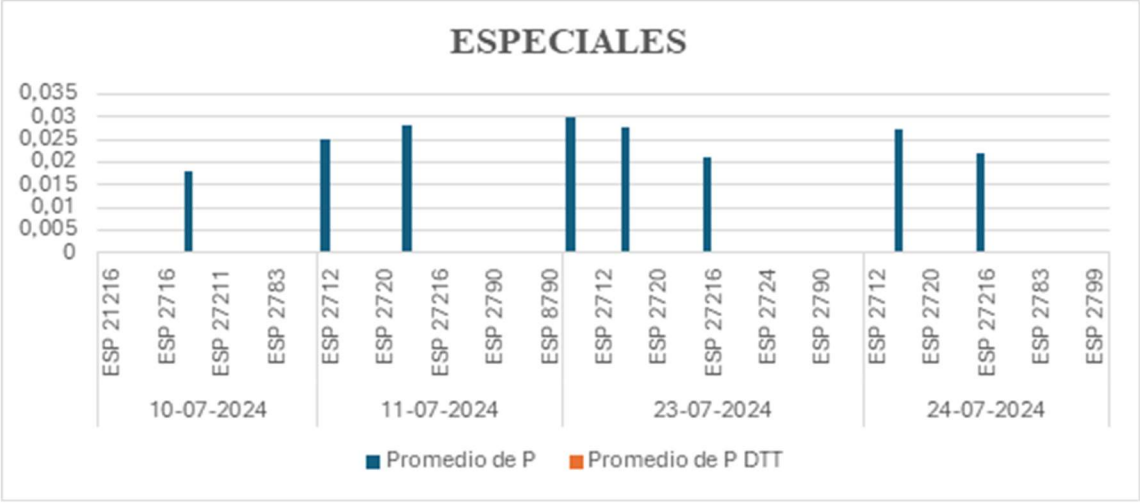
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.46



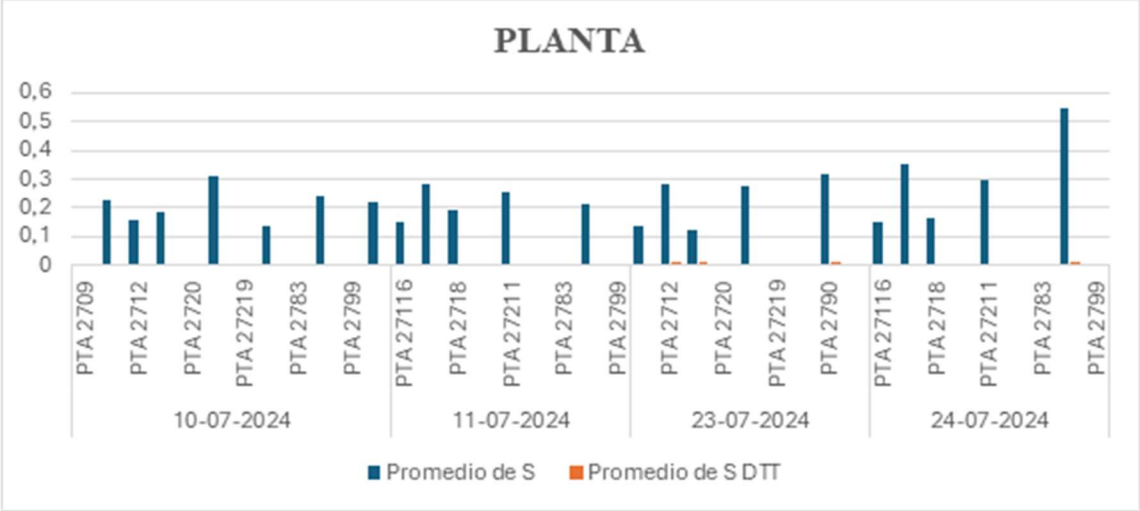
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.47



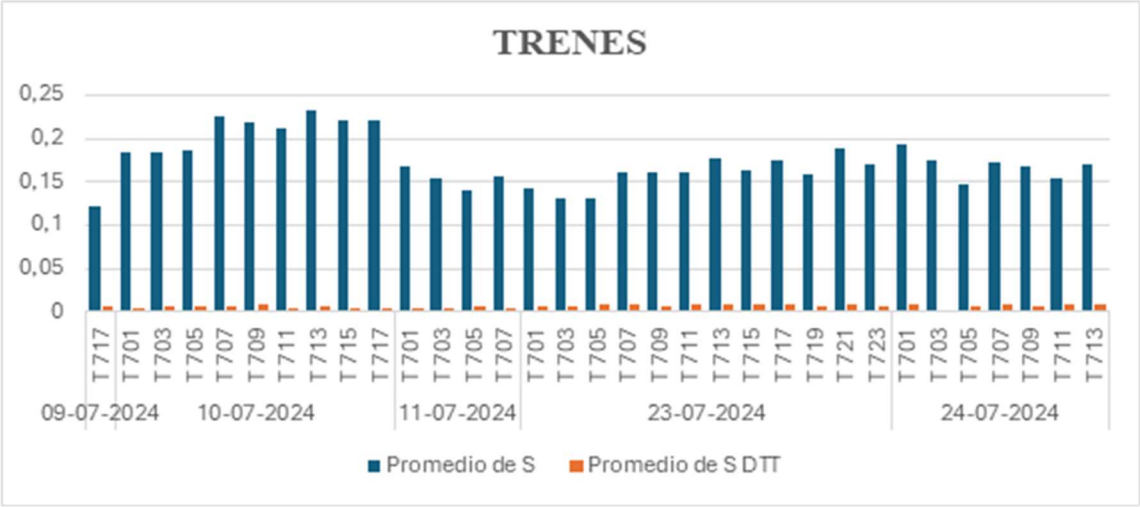
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.48



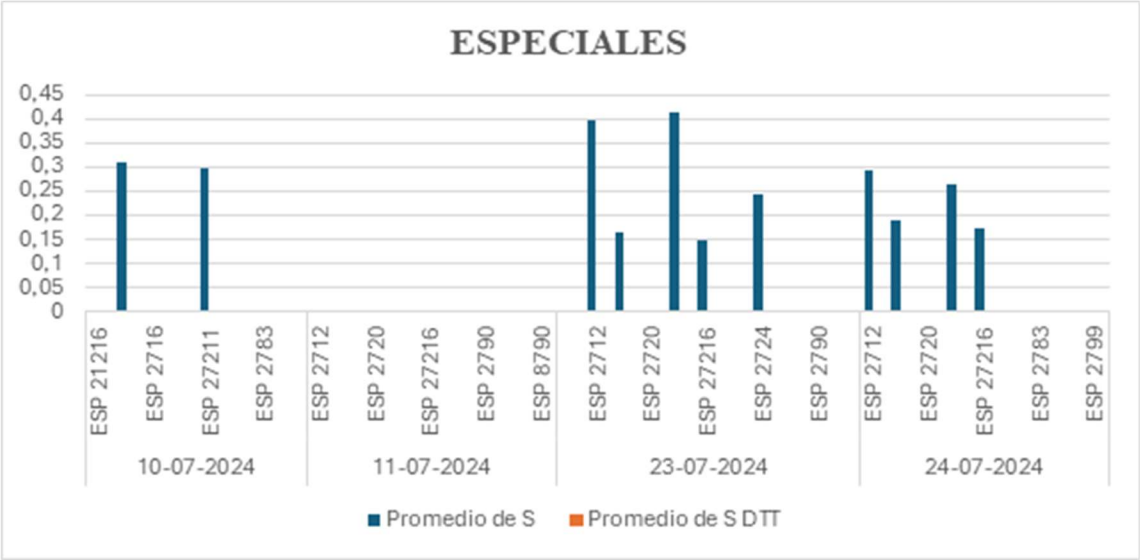
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.49



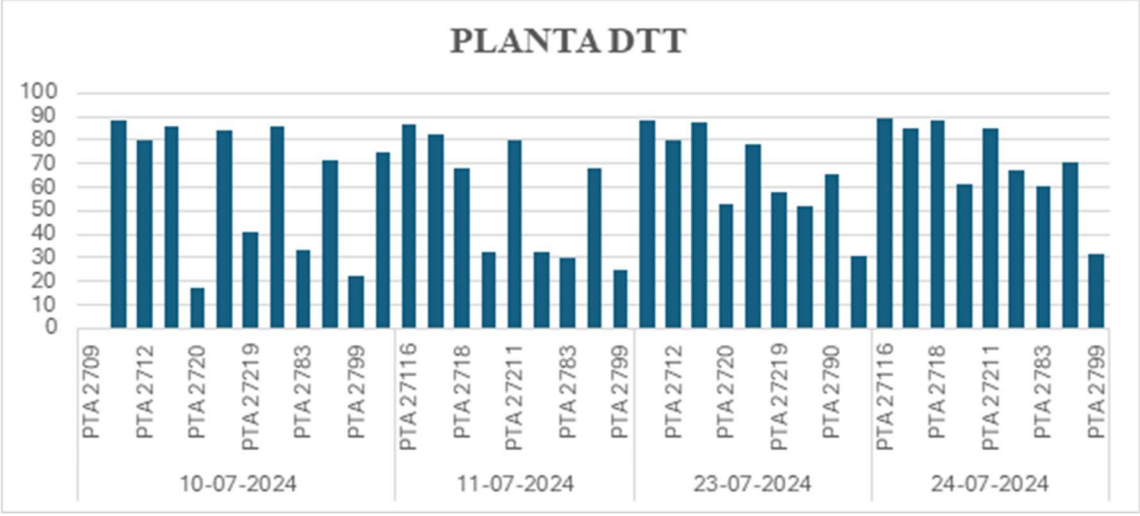
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.50



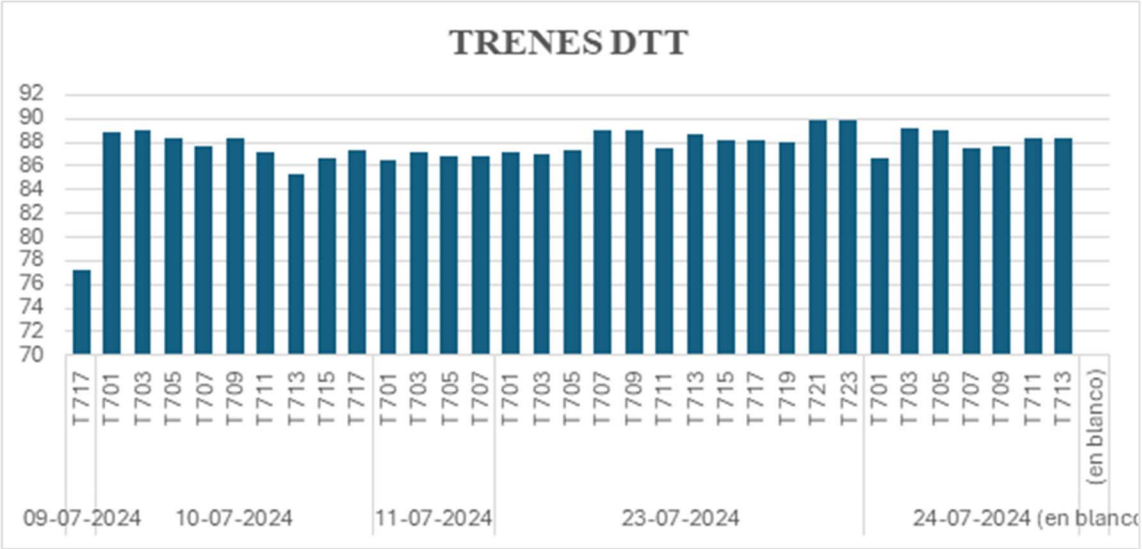
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.51



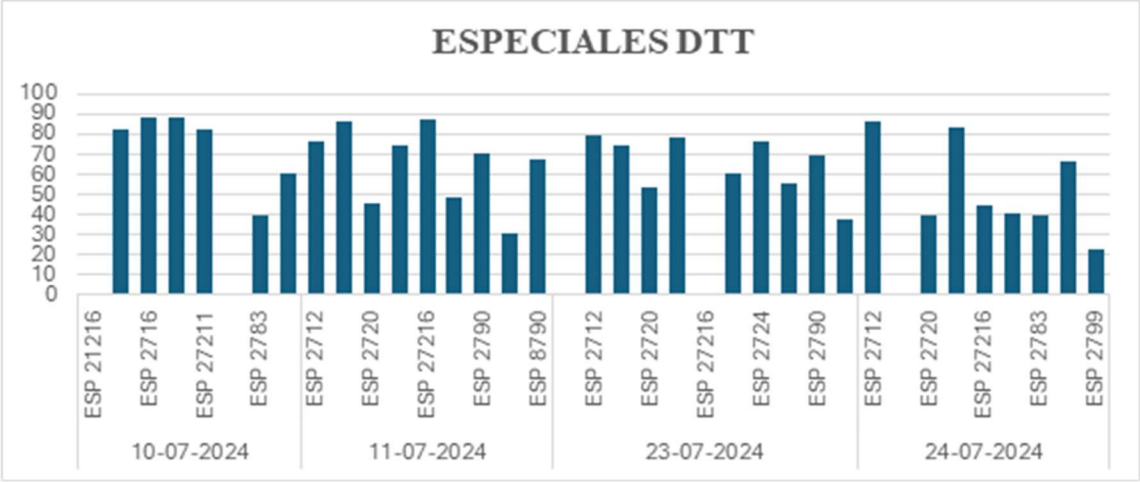
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.4.52



(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

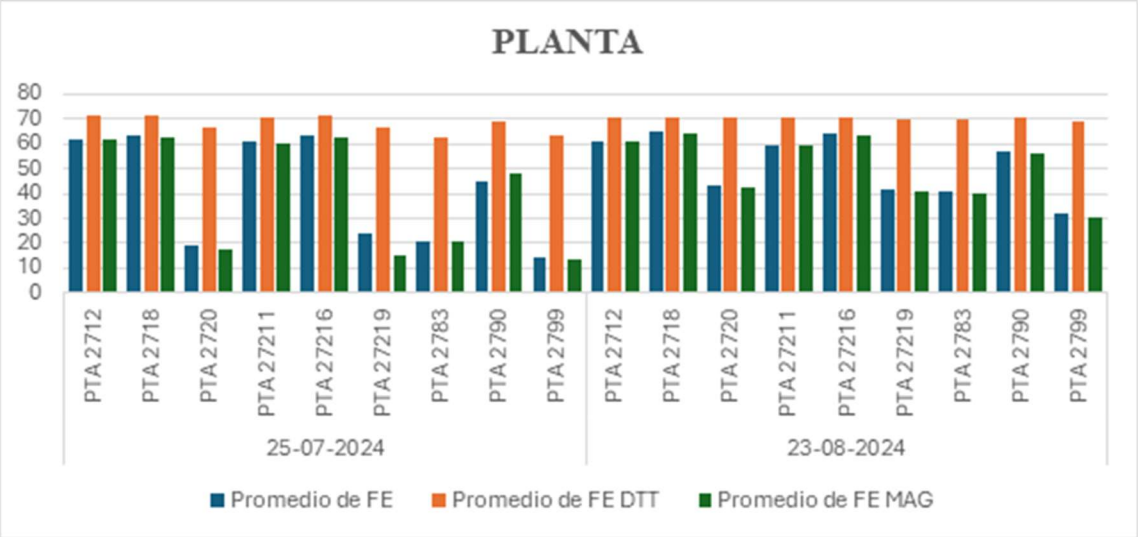
Gráfico 4.3.1.4.53



(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

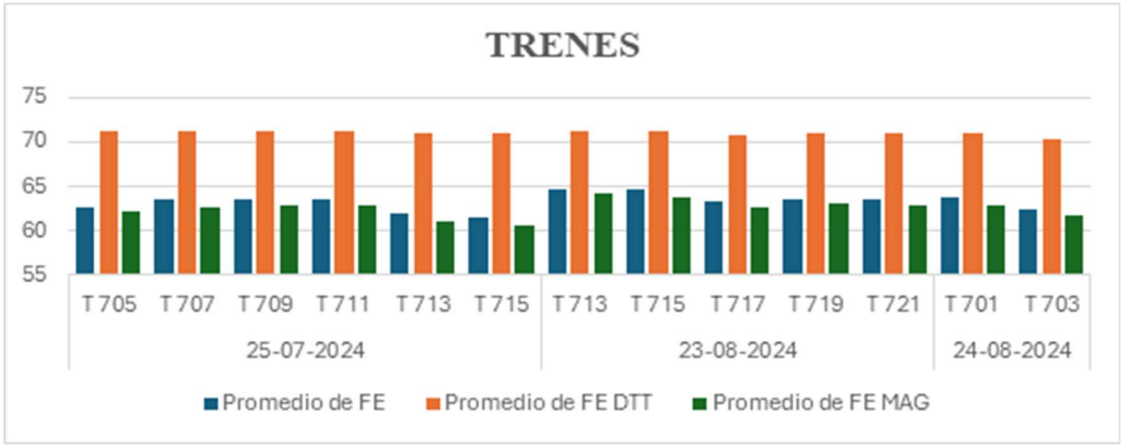
ANEXO 3: Gráficos Campaña 5

Gráfico 4.3.1.5.54



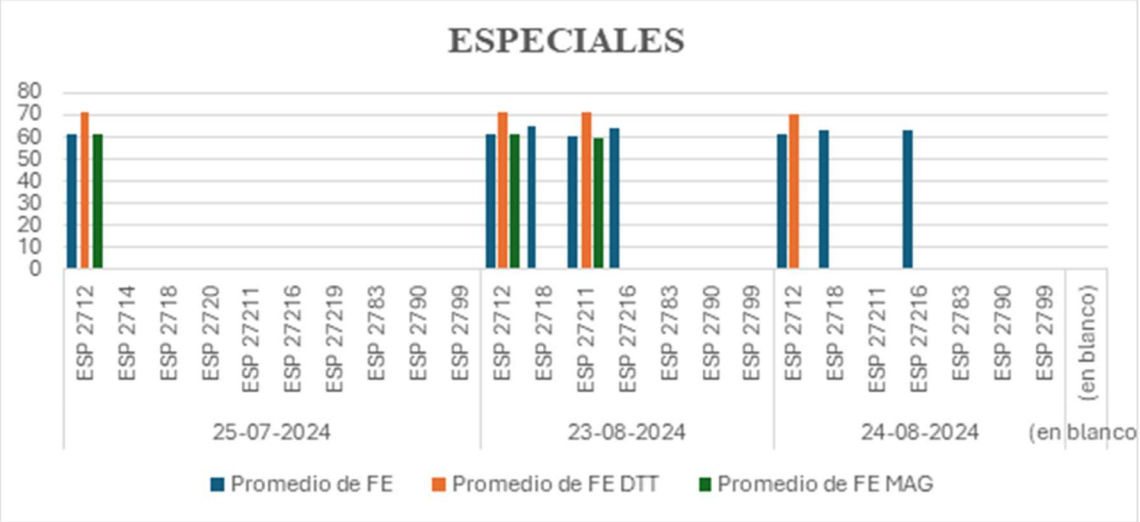
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.55



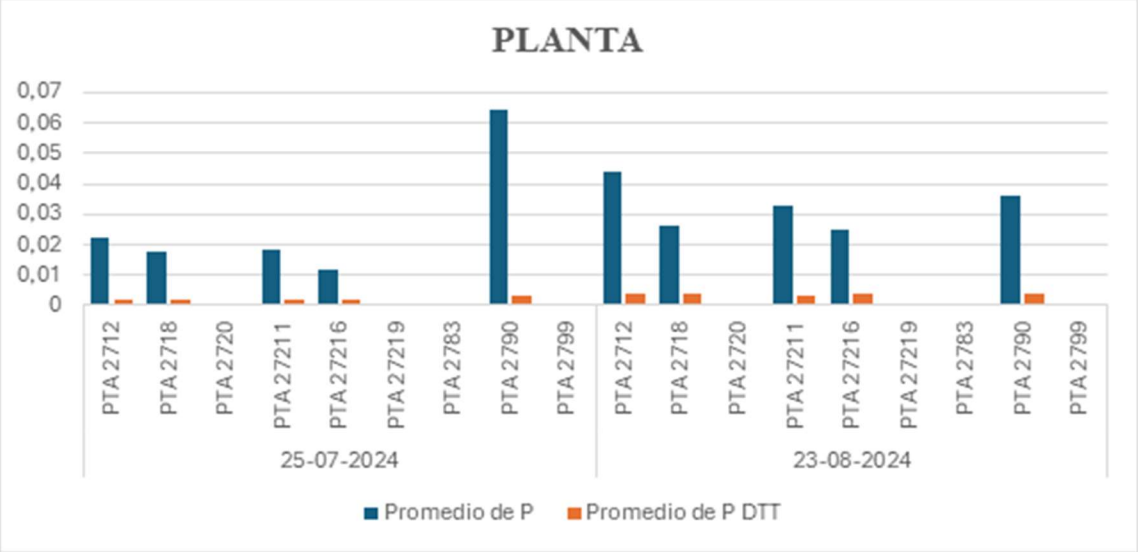
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.56



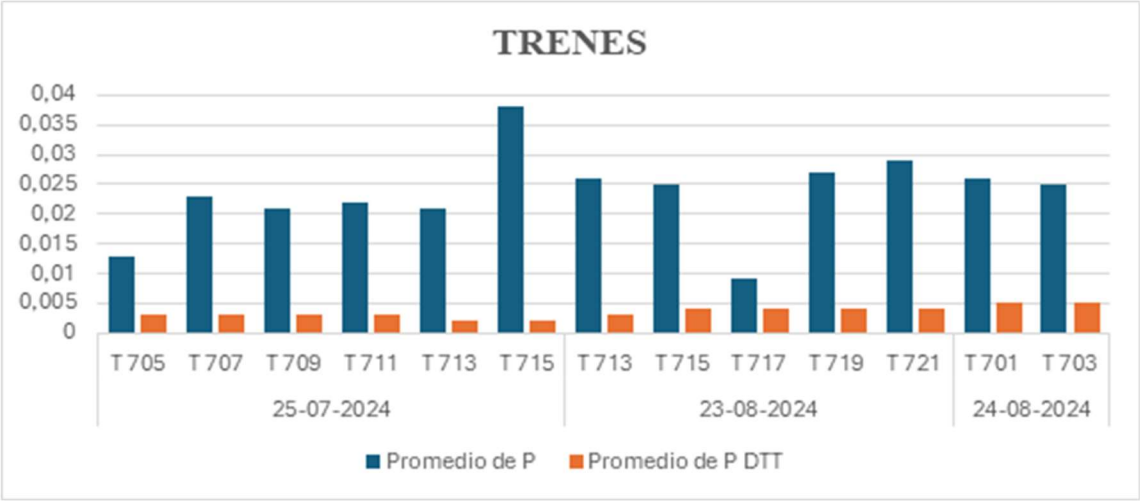
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.57



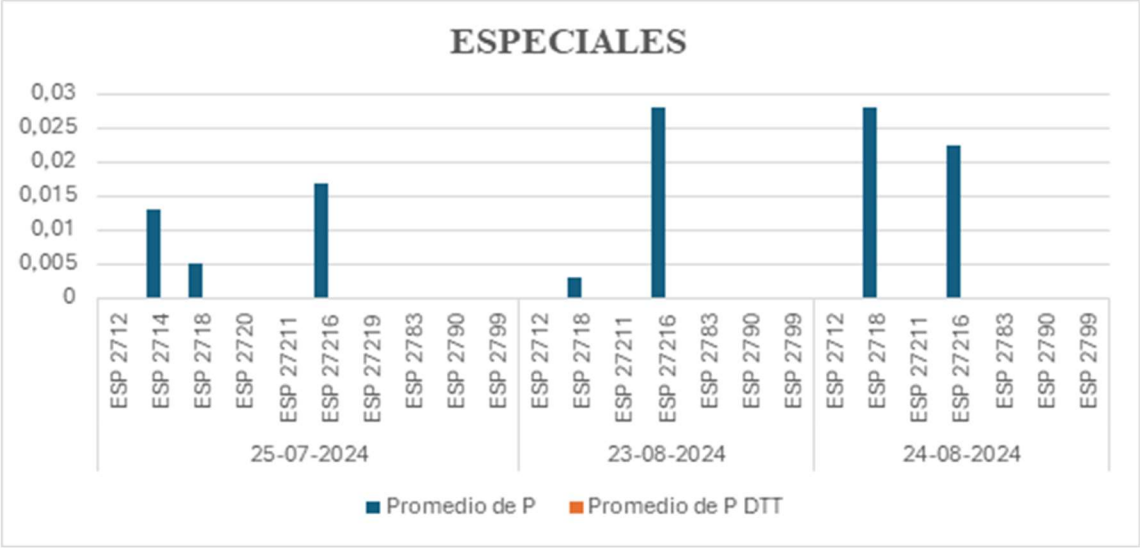
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.58



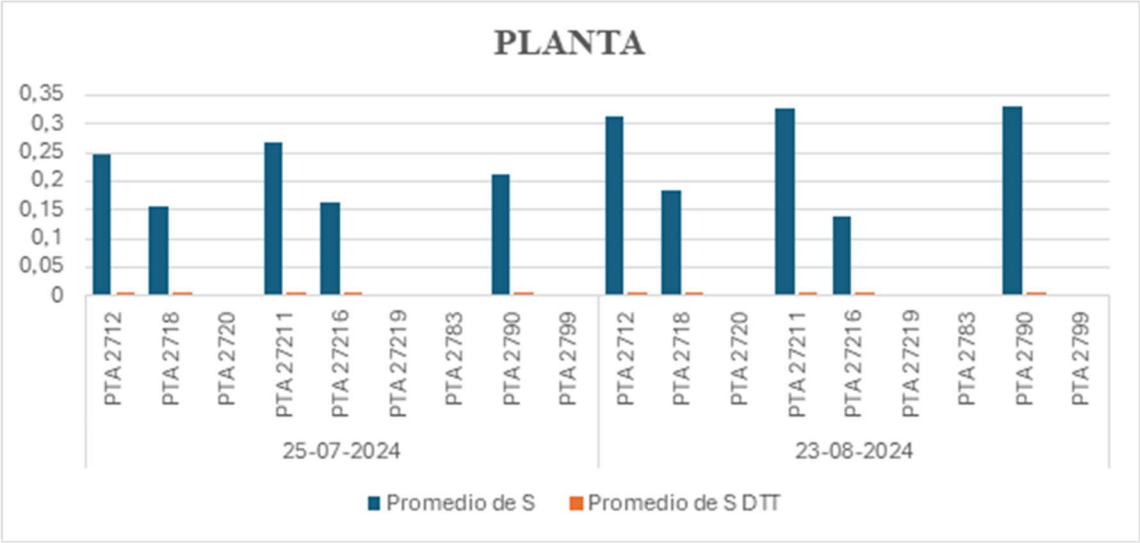
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.59



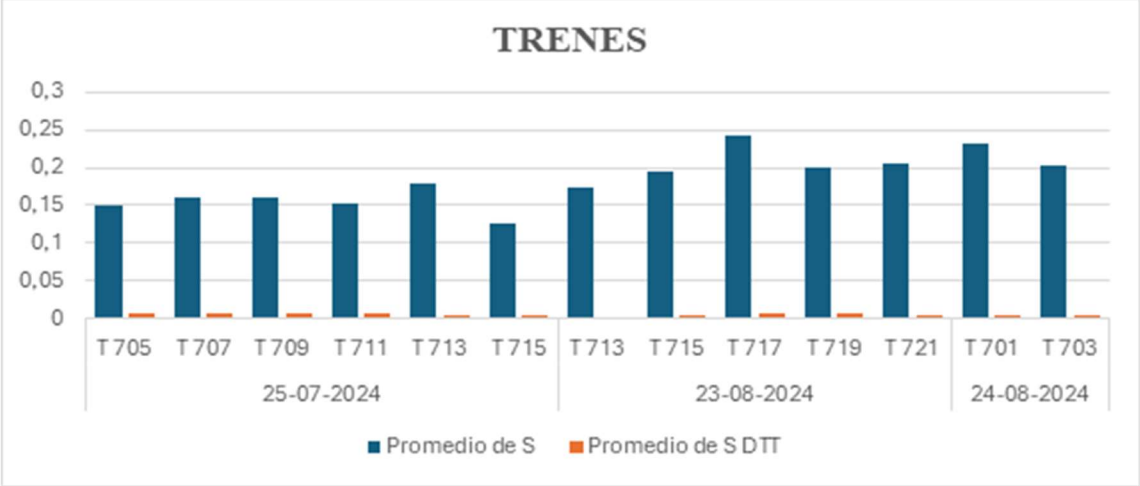
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.60



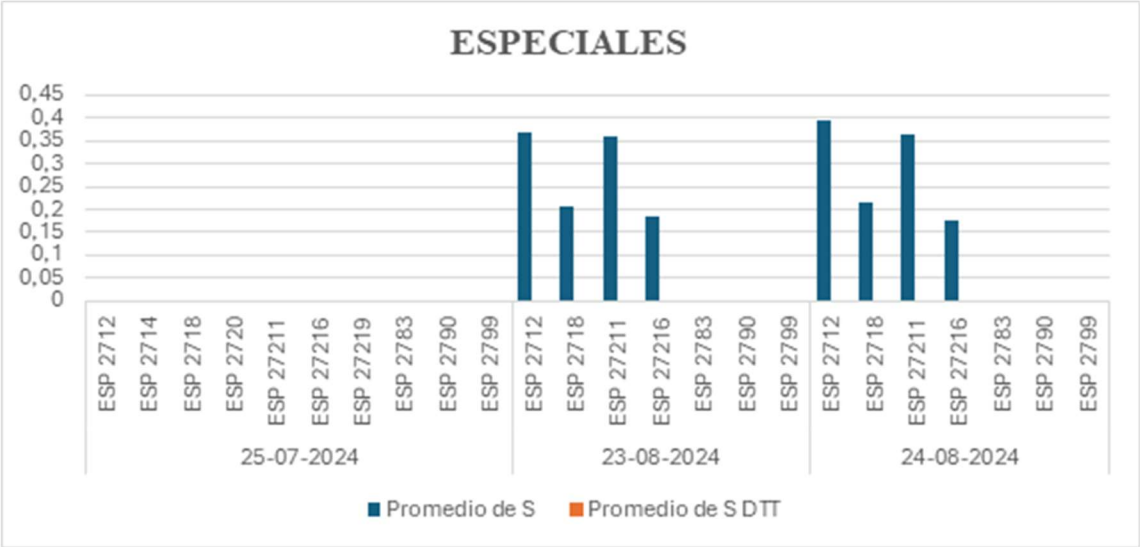
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.61



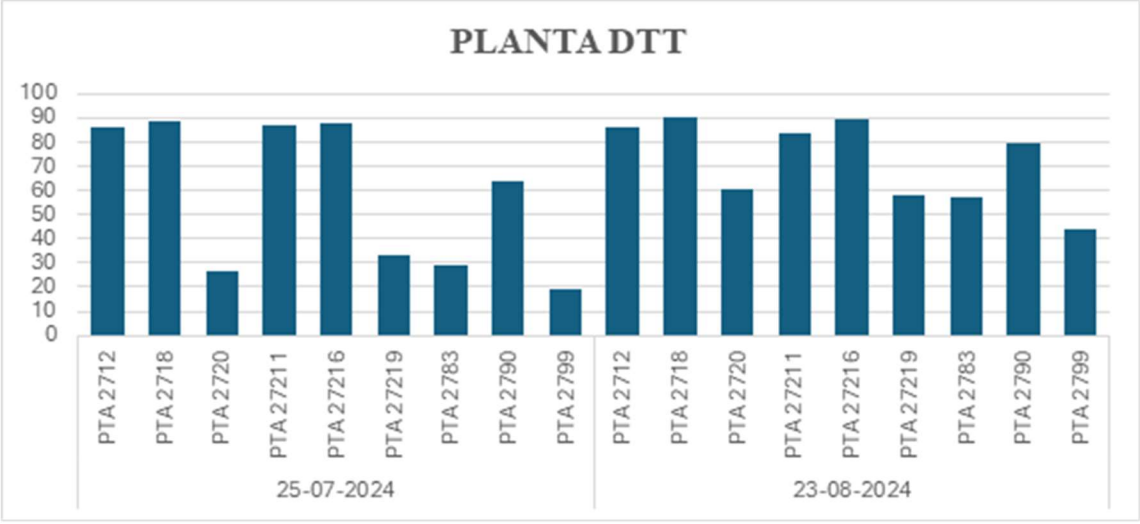
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.62



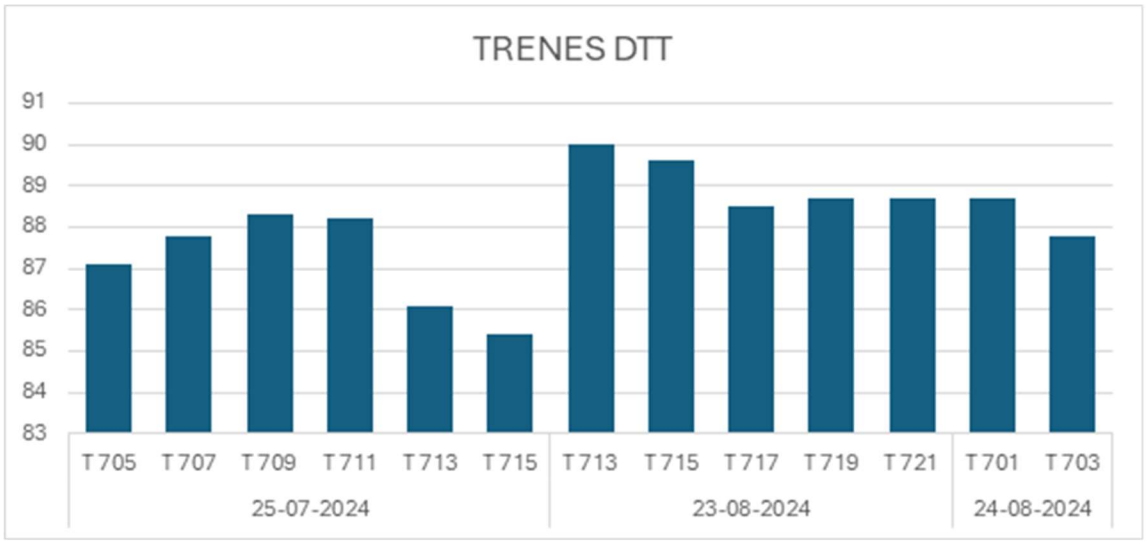
(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.63

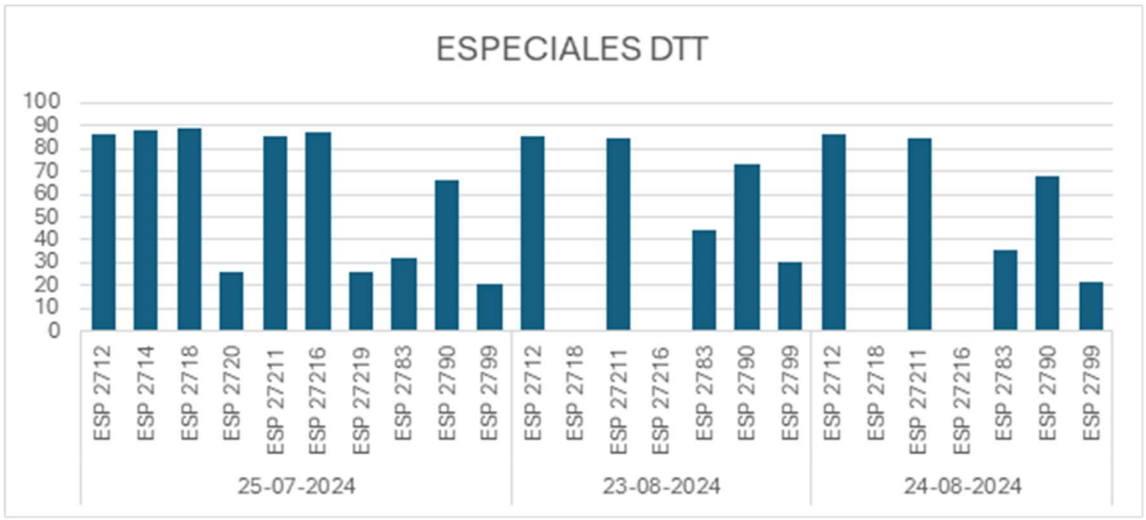


(Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

Gráfico 4.3.1.5.64



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)



(Fuente: Creación Propia con datos de Mademet, 2024)

BIBLIOGRAFÍA

Malvern Panalytical. (n.d). X-ray diffraction. Recuperado de https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/xray-analysis/x-ray-diffraction

Datos propios basados en análisis de laboratorio proporcionados por Mademet (2024).

Espectrometria. (n.d.). ¿Qué es la difracción de rayos X (XRD) y por qué es tan importante para la industria?. Recuperado de https://espectrometria.com.mx.

Mademet. (2024). Análisis mensuales de campañas “Sinter Feed” en la mina Los Colorados. Informes internos.

CMP. (2024). Diagramas de flujo de procesos en mina Los Colorados. Informes internos no publicados.